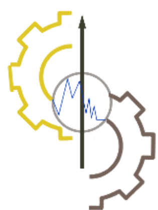
E-ISSN: 2717-4581 | P-ISSN: 2783-1345



Innovation Management and Operational Strategies

www.journal-imos.ir

Inov. Manage. Oper. Stra. Vol. 5, No. 1 (2024) 109–132.



Paper Type: Original Article



The Application of the Data Envelopment Analysis Method in Investigating the Performance of Irrigated Wheat Producers with an Environmental Approach

Fatemeh Zargaran[1], Mahmoud Daneshvar Kakhki[1], Leili Abolhassani[1], Elnaz Nejatiyanpour[1], Mahmoud Sabouhi Sabouni[1,*]

[1] *Department of Agricultural Economics, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran; fateme.zargaran96@yahoo.com; daneshvar@um.ac.ir; l.abolhasani@um.ac.ir; nejatiyanpour.elnaz@gmail.com; sabouhi@um.ac.ir.*

Citation:



Zargaran, F., Daneshvar Kakhki, M., Abolhassani, L., Nejatiyanpour, E., & Sabouhi Sabouni, M. (2024). The application of the data envelopment analysis method in investigating the performance of irrigated wheat producers with an environmental approach. *Innovation management and operational strategies*, *5*(1), 109-132.

Received: 10/10/2023 Reviewed: 25/11/2023 Revised: 14/12/2023 Accepted:24/01/2024

Abstract

Purpose: In this study, the technical efficiency and environmental efficiency of irrigated wheat producers in 31 provinces of the country were investigated by considering the emission of CO2 as an undesirable output during the years 2006-2018.

Methodology: Data envelopment analysis and the Malmquist productivity index were used under natural disposability and managerial disposability. In the Malmquist index, the amount of wheat production was used as the desired output, and the amount of carbon dioxide emission from the production of irrigated wheat was used as the undesirable output. To determine the amount of CO2 emission, the carbon dioxide emission coefficients related to each production input and the amount of their use in the study area were used.

Findings: The results of the Malmquist productivity index with the absence of border crossing showed that under the natural disposability, Khorasan-Razavi has the highest index value. Kermanshah province has strong efficiency, and Fars has weak technical efficiency in irrigated wheat cultivation. Also, the results under managerial disposability showed that East Azerbaijan has the highest efficiency. Ardabil, Bushehr, Fars, Kermanshah, and Hormozgan, with ten years of Malmquist productivity index more than one, East Azerbaijan, West Azerbaijan, Chaharmahal and Bakhtiari, North Khorasan, Kurdistan, and Lorestan had a six-year history of Malmquist productivity index less than one. The results of Malmquist's productivity index with the occurrence of border crossing show that under natural disposability, this index is more than one in all provinces. It is, although, under managerial disposability, less than one in all provinces.

Originality/Value: It is suggested to calculate the technical and environmental efficiency for other crops and to estimate the amount of CO2, N2O and CH4 greenhouse gas emissions as unwanted outputs. The Malmquist productivity index model can be done based on agro-ecological zoning for each province or country. Considering the global warming and climate change phenomenon, the provinces that have more environmental efficiency in blue wheat production should be prioritised for cultivation.

Keywords: Malmquist productivity index, Technical efficiency, Environmental efficiency, Irrigation wheat.

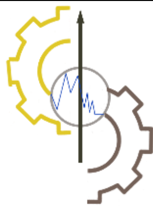


Corresponding Author: sabouhi@um.ac.ir



10.22105/imos.2024.447601.1336





مدیریت نوآوری و راهبردهای عملیاتی

دوره ۵، شماره (۱)، (۱۴۰۳)، ۱۰۹-۱۳۲

www.journal-imos.ir





نوع مقاله: پژوهشی

کاربرد روش تحلیل پوششی داده‌ها در بررسی عملکرد تولیدکنندگان گندم آبی با رویکرد محیطزیستی

فاطمه زرگران[1]، محمود دانشور کاخکی[1]، لیلی ابوالحسنی[1]، الناز نجاتیان‌پور[1]، محمود صبوحی صابونی[1،*]

[1]گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

چکیده

هدف: در مطالعه حاضر کارایی فنی و کارایی محیطزیستی تولیدکنندگان گندم آبی ۳۱ استان کشور با لحاظ کردن انتشار گاز $CO2$ به‌عنوان ستانده نامطلوب طی سال‌های زراعی ۱۳۸۵-۱۳۹۷ بررسی شد.

روش‌شناسی پژوهش: روش تحلیل پوششی داده‌ها و شاخص بهره‌وری مالم‌کوئیست تحت دسترسی طبیعی و مدیریتی به‌کار گرفته شد. مقدار تولید گندم به‌عنوان ستانده مطلوب، میزان انتشار دی‌اکسید کربن حاصل از تولید گندم آبی به‌عنوان ستانده نامطلوب در شاخص مالم‌کوئیست استفاده شد. جهت تعیین میزان انتشار گاز $CO2$ از ضرایب انتشار میزان انتشار دی‌اکسید کربن هر نهاده تولیدی و میزان استفاده آن‌ها در منطقه موردمطالعه استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج شاخص بهره‌وری مالم‌کوئیست با عدم وقوع تقاطع مرزی نشان داد تحت دسترسی طبیعی استان خراسان رضوی بالاترین مقدار شاخص را داشته است. استان کرمانشاه کارایی قوی و استان فارس کارایی فنی ضعیف در کشت گندم آبی دارند. تحت دسترسی مدیریتی آذربایجان شرقی بالاترین کارایی را دارد و استان‌های اردبیل، بوشهر، فارس، کرمانشاه و هرمزگان با ده سال سابقه شاخص بهره‌وری مالم‌کوئیست بیش‌تر از یک، استان‌های آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی، چهارمحال و بختیاری، خراسان شمالی، کردستان و لرستان با شش سال سابقه شاخص بهره‌وری مالم‌کوئیست کمتر از یک مواجه بودند. نتایج شاخص بهره‌وری مالم‌کوئیست با وقوع تقاطع مرزی نشان می‌دهد که تحت دسترسی طبیعی این شاخص در همه استان‌ها بیش‌تر از یک است. تحت دسترسی مدیریتی در همه استان‌ها کم‌تر از یک است.

اصالت/ارزش افزوده علمی: پیشنهاد می‌شود کارایی فنی و کارایی محیطزیستی را برای سایر محصولات زراعی محاسبه نمود و میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای $CO2$، $N2O$ و $CH4$ را به‌عنوان ستانده نامطلوب برآورد کرد. الگوی شاخص بهره‌وری مالم‌کوئیست را می‌توان بر اساس پهنه‌بندی اگرواکولوژیکی برای هر استان یا هر کشور انجام داد. با توجه به گرم شدن کره زمین و پدیده تغییر اقلیم استان‌هایی که کارایی محیطزیستی بیشتری در تولید گندم آبی دارند در اولویت کشت قرار بگیرند.

کلیدواژه‌ها: شاخص بهره‌وری مالم‌کوئیست، کارایی فنی، کارایی محیطزیستی، گندم آبی.

۱- مقدمه

بخش کشاورزی به دلیل تاثیر قابل‌توجهی که در حل چالش‌های اقتصادی-اجتماعی مانند رشد اقتصادی، تامین امنیت غذایی و استقلال ملی، توسعه پایدار و حفظ محیطزیست دارد، از اهمیت بالایی برخوردار است. امنیت غذایی بدون توجه به پایداری محیطزیستی غیرممکن است. با افزایش جمعیت و نیاز به تامین غذا، باید به کارایی تولید در سیستم زراعی توجه شود، زیرا افزایش تولید فعلی به علت افزایش مصرف منابع زراعی مانند آب، خاک، کودهای شیمیایی و سموم شیمیایی رخ می‌دهد. اگر این شرایط پایدار نباشد، توازن میان نیازهای انسان و بهره‌برداری مطلوب از منابع از بین خواهد رفت. سوزاندن سوخت‌های فسیلی و استفاده از کودهای شیمیایی در کشاورزی باعث مصرف بالای انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود. بخش کشاورزی با محدودیت منابع و افزایش تقاضا برای محصولات غذایی روبه‌رو است که ممکن است آثار جانبی منفی بر محیطزیست داشته باشد. یکی از چالش‌های عمده محیطزیست در قرن بیست و یکم افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای است [1]. انتشار بیش‌ازحد گازهای گلخانه‌ای از طریق فعالیت‌های مربوط به انسان از مهم‌ترین علل تغییرات اقلیمی به شمار می‌رود. تولید محصولات کشاورزی ۱۹% تا

۲۹% از انتشار گازهای گلخانه‌ای جهان را شامل می‌شود [2]. طبق گزارش آژانس بین‌المللی انرژی (*IEA*) در سال ۲۰۲۱ کشور ایران در جمع ده کشور با بیش‌ترین میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای قرار گرفت. بخشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای مربوط به کشاورزی است که سوخت‌های فسیلی یکی از منابع اصلی این انتشارات است [3]. کشاورزی ایران با ۱۳ میلیون تن انتشار *CO2* در سال ۲۰۱۹ بیشترین میزان انتشار گاز *CO2* در این بخش را در بین سایر کشورهای منطقه خاورمیانه داشته است. شاخص عملکرد محیطزیست (*EPI*) به دو هدف اصلی حفاظت از محیطزیست و مدیریت منابع طبیعی تاکید می‌کند. در سال ۲۰۲۰، در بین ۱۸۰ کشور جهان، ایران رتبه ۶۷ را در شاخص عملکرد محیطزیست کسب کرده است و در بخش تغییر اقلیم، ایران و مصر به‌صورت مشترک رتبه ۷۴ را به‌دست آورده‌اند که نرخ رشد انتشار *CO2* بر آن موثر است [4]. کارایی محیطزیست زمانی افزایش می‌یابد که اثرات محیطزیستی ناشی از فعالیت‌های اقتصادی یا مصرف منابع طبیعی در فرآیند تولید، کاهش یابد؛ بنابراین بهبود کارایی محیطزیستی برای توسعه پایدار ضروری است [5]. گندم به‌عنوان اصلی‌ترین مواد غذایی بشر، مهم‌ترین محصول زراعی و حیاتی‌ترین کالا در الگوی مصرفی خانوارهای جهان محسوب می‌شود [6]، [7]. سطح زیر کشت گندم دنیا در سال ۲۰۱۹، ۲۲۵ میلیون هکتار با تولید ۷۷۲ میلیون تن است. میزان عملکرد گندم در جهان همواره رو به افزایش بوده و میزان آن از ۲۹۷۲ کیلوگرم در هکتار در سال ۲۰۱۰ به ۳۵۴۶ کیلوگرم در هکتار در سال ۲۰۱۹ به بالاترین میزان عملکرد افزایش یافته است [4]. طبق آمارنامه کشاورزی در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۳۹۸ سطح زیر کشت گندم کشور ۶ میلیون هکتار است که ۱/۷۵% از گندم جهان را تولید می‌کند. سطح زیر کشت گندم آبی و دیم کشور به ترتیب ۱/۹۶ و ۴/۰۴ میلیون هکتار می‌باشد. کشت گندم در بیش‌تر استان‌های ایران رایج است، ازاین‌رو گندم به‌عنوان اصلی‌ترین محصول کشاورزی کشور، مهم‌ترین عامل انتشار گاز دی‌اکسید کربن در کشاورزی است. **جدول ۱** رتبه‌بندی استان‌های کشور بر اساس میزان انتشار CO_2 ناشی از کشت گندم آبی را نشان می‌دهد [8].

جدول ۱- رتبه‌بندی استان‌های کشور بر اساس میزان انتشار CO2 ناشی از کشت گندم آبی.

Table 1- Ranking of the country's provinces based on the amount of CO2 emissions caused by water wheat cultivation.

رتبه	استان	متوسط مقدار انتشار گاز دی‌اکسید کربن حاصل از تولید گندم آبی برای هر هکتار (کیلوگرم)	رتبه	استان	متوسط مقدار انتشار گاز دی‌اکسید کربن حاصل از تولید گندم آبی برای هر هکتار (کیلوگرم)
1	فارس	9045	17	گلستان	1522
2	البرز	2121	18	ایلام	1518
3	قم	1963	19	خوزستان	1505
4	اصفهان	1921	20	چهارمحال و بختیاری	1468
5	قزوین	1731	21	خراسان جنوبی	1446.7
6	هرمزگان	1658	22	کردستان	1446.5
7	تهران	1652	23	خراسان شمالی	1436.5
8	سمنان	1649	24	لرستان	1415
9	جنوب کرمان	1594.7	25	زنجان	1413
10	اردبیل	1594	26	مازندران	1382
11	خراسان رضوی	1591	27	کهگیلویه و بویر احمد	1371
12	یزد	1577	28	آذربایجان غربی	1343
13	همدان	1560	29	آذربایجان شرقی	1335
14	مرکزی	1588	30	بوشهر	1303
15	کرمانشاه	1540	31	سیستان و بلوچستان	1271.4
16	کرمان	1537			

ماخذ: داده‌های وزارت جهاد کشاورزی از سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۷

بر اساس **جدول ۱** همان‌طور که مشاهده می‌گردد برای سال‌های زراعی ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۷، استان فارس با متوسط انتشار ۹۰۴۵ کیلوگرم گاز دی‌اکسید کربن حاصل از تولید هر هکتار گندم آبی بیش‌ترین انتشار گاز دی‌اکسید کربن را دارد و با توجه به اینکه استان فارس دومین تولیدکننده گندم به روش آبی در کشور می‌باشد با ۲/۷۷ میلیون تن گاز دی‌اکسید کربن حاصل از تولید گندم آبی در سطح استان فارس بالاترین میزان انتشار گاز دی‌اکسید کربن را دارد که ناشی از مصرف بالای سوخت است. استان فارس با متوسط ۶۵/۲۷ میلیون ساعت استفاده از ماشین‌آلات در سال‌های زراعی

۱۳۸۵ تا ۱۳۹۷، بالاترین مصرف سوخت را در بین استان‌های دیگر دارد. استان سیستان و بلوچستان با متوسط انتشار ۱۲۷۱/۴ کیلوگرم گاز دی‌اکسید کربن حاصل از تولید هر هکتار گندم آبی کم‌ترین انتشار گاز دی‌اکسید کربن را دارد.

۲- مبانی نظری و پیشینه پژوهش

رابطه بین عملکرد گندم و انتشار گاز دی‌اکسید کربن حاصل از تولید آن بسیار اهمیت دارد. با توجه به اینکه گندم محصول راهبردی کشور است و میزان انتشار دی‌اکسید کربن قابل‌توجهی دارد و در راستای ایجاد جامعه‌ای سازگار با محیط‌زیست و حفظ منابع طبیعی، اندازه‌گیری و مقایسه بهره‌وری، پیشرفت فنی، کارایی فنی و کارایی محیط‌زیستی تولیدکنندگان گندم آبی در سطح استان‌های کشور از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده که هدف اصلی این مطالعه است. در این زمینه مطالعات زیادی در داخل و خارج کشور انجام شده که در ادامه به تعدادی از آن‌ها اشاره خواهد شد.

رضوان طلب و همکاران [9] شاخص‌های انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید گندم در استان گلستان را ارزیابی کردند. تجزیه‌وتحلیل انرژی بر مبنای میزان نهاده مصرفی به ازای هر واحد آن و همچنین انتشار سه گاز گلخانه‌ای *CO2*، *N2O* و *CH4* ناشی از مصرف انرژی برای تولید نهاده‌های کشاورزی و انجام عملیات مختلف زراعی نیز انجام شد. نتایج نشان داد که به‌طور میانگین از هر هکتار گندم ۱۴۱۴ کیلوگرم معادل دی‌اکسید کربن در هکتار به جو آزاد می‌شود. واحدی [10] در مطالعه‌ای با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها، الگوی مصرف انرژی و کارایی مزارع گندم آبی استان البرز را بررسی کردند. نتایج تحقیق نشان داد از ۲۰ مزرعه موردمطالعه، در الگوی بازده به مقیاس ثابت ۲۰% و در الگوی بازده به مقیاس متغیر ۵۰% کشاورزان کارا هستند. متوسط کارایی فنی، کارایی فنی خالص و کارایی مقیاس در این مزارع بر مبنای الگوهای *CCR* و *BCC* ورودی محور به ترتیب برابر با ۰/۸۹۳، ۰/۹۹۰ و ۰/۹۰۱ محاسبه شده است. بیش‌ترین سهم از کل انرژی مصرفی در تولید گندم آبی به ترتیب به نهاده‌های شیمیایی و سوخت با ۴۳/۰۶% و ۲۲/۹۳% تعلق دارد. بلالی و همکاران [11] میزان بهینه اقتصادی مصرف کودهای شیمیایی (ازته، فسفاته و پتاسه) در تولید گندم و جو آبی در ایران با روش بیزین را موردمطالعه قراردادند. نتایج نشان داد که میانگین مصرف بهینه کودهای شیمیایی ازته، فسفاته و پتاسه در تولید گندم آبی به ترتیب ۱۱۷/۰۵، ۹۷/۷۱ و ۳۹/۶۸ کیلوگرم در هکتار است؛ به‌طوری‌که میانگین مصرف بهینه کودهای شیمیایی به ترتیب ۴۶/۵۶، ۲۵/۳۴ و ۱۰/۹۵ کیلوگرم در هکتار، کم‌تر از مقدار فعلی مصرف کودهای شیمیایی در کشور است.

الاسراگ و آلارکان [12] مطالعه‌ای با هدف سنجش میزان بهره‌وری ۲۷ استان تولیدکننده گندم در دوره زمانی ۲۰۱۲-۱۹۹۰ انجام دادند. از شاخص *TFP Global Malmquist* به‌عنوان روش ناپارامتریک استفاده کردند که *PC* تولید گندم با میانگین سالانه ۰/۸۷% رشد یافته و سهم مولفه تغییر فنی ۲۵/۷% و سهم مولفه تغییر کارایی ۳/۷% اندازه‌گیری شده که تغییر فنی از اهمیت بیشتری برخوردار است. بیشترین تغییر بهره‌وری کل عوامل جهانی مالم‌کوئیست (*PC*) در استان سوهق با نرخ (۳۹/۴۰٪)، بهیرا (۳۳/۳۴٪)، منوفیا (۲۷/۶۹٪) و اسویت و فائوم (۲۱/۷۱٪) رخ داده و استان‌های باقی‌مانده بهره‌وری کمتری دارند. هونگ و همکاران [13] در مطالعه‌ای از شاخص *Malmquist* برای تحلیل روابط بین بخش کشاورزی چین و انتشار دی‌اکسید کربن استفاده کردند و توصیه کردند سیاست‌های مختلف انتشار *CO2* با توجه به وضعیت واقعی در مناطق مختلف باید اتخاذ شود و ارتقا صنعتی برای افزایش راندمان تولید می‌تواند باعث کاهش انتشار *CO2* به‌منظور بهبود محیط‌زیست شود. الاحی و همکاران [14] جهت بهینه‌سازی برای بهبود بهره‌وری انرژی و ارزیابی انتشار گازهای گلخانه‌ای گندم از تحلیل پوششی داده‌ها استفاده کردند. این مطالعه در مناطق مهم پنجاب، پاکستان به‌صورت تصادفی انتخاب و بررسی شد و الگوی مصرف انرژی و میزان کارایی فنی واحدهای تصمیم‌گیری (DMU_S) با استفاده از *DEA* موردبررسی قرار گرفت. میانگین کارایی فنی، کارایی فنی خالص و کارایی مقیاس DMU_S به ترتیب ۰/۶۶۸، ۰/۷۷۶ و ۰/۸۲۸ است. طبق بررسی ۷۴% از واحدهای تصمیم‌گیری در حال کار کاهش بازده نسبت به مقیاس بود. اگر این نهاده‌ها مطابق با مقدار بهینه ۲۹۳۸۸/۵۲ مگاژول در هکتار استفاده و مدیریت شوند می‌توانند ۱۴/۶۵% از منابع را ذخیره کند که درنهایت مقدار مساوی عملکرد گندم اضافه می‌کند. میانگین انتشار گازهای گلخانه‌ای ۸۶۶/۴۳ معادل دی‌اکسید کربن در هکتار محاسبه شد. ون و لی [15] در مطالعه‌ای با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها و شاخص مالم‌کوئیست به برآورد بهره‌وری انرژی بخش‌های زراعت، جنگلداری، دامداری و شیلات با داده‌های تابلویی پنج استان در کشور چین طی سال‌های ۲۰۱۵-۲۰۰۴ پرداختند. نتایج نشان داد استان‌های مرکزی نسبت به استان‌های ثروتمند ساحل شرقی از کارایی انرژی کشاورزی کم‌تری بهره‌مند هستند. قاسمی مبتکر و همکاران [16] کشت گندم استان همدان با روش ارزیابی چرخه حیاتی (*LCA*) از جنبه‌های مصرف انرژی، ارزش اقتصادی و اثرات محیط‌زیستی را تحلیل کردند. نتایج نشان داد که میزان انتشار *CO2* حاصل از سوخت دیزل در عملیات مختلف کشت گندم ۴۲۶/۶۴ کیلوگرم در هکتار و پتانسیل گرمایش جهانی ۶۲۴/۲ کیلوگرم معادل *CO2* است.

در تحقیقات و مطالعات بررسی‌شده برای محاسبه میزان بهره‌وری و کارایی روش‌های مختلفی ازجمله تابع تولید ترانسلوگ، تابع تولید کاب داگلاس، روش بیزین، روش ارزیابی چرخه حیاتی و شاخص مالم‌کوئیست مورداستفاده قرار گرفته است. در اکثر موارد برای بررسی رابطه انرژی نهاده‌های مصرفی و میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای و پتانسیل گرمایش جهانی و تعیین مقدار بهینه نهاده‌ها از روش تحلیل پوششی داده‌ها استفاده شده است. در برخی از مطالعات نیز عوامل تاثیرگذاری همچون میزان تحصیلات کشاورزان، شرایط آب و هوایی، استفاده بیشتر از ماشین‌آلات، استفاده از سوخت‌های فسیلی و برق، مصرف بیش‌ازحد سموم و مواد شیمیایی، روش‌های خاک‌ورزی و فناوری‌های جدید و غیره آورده شده است. با توجه به اینکه تاکنون مطالعه‌ای در ایران در رابطه با محاسبه شاخص بهره‌وری مالم‌کوئیست برای گندم آبی با رویکرد محیطزیستی صورت نگرفته است، مطالعه‌ی حاضر اولین مطالعه در ایران است که به تحلیل‌های فوق برای ۳۱ استان کشور می‌پردازد.

۳- روش پژوهش

در ادامه برای ارزیابی عملکرد تولیدکنندگان گندم آبی استان‌های کشور از سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۷ از شاخص بهره‌وری مالم‌کوئیست استفاده می‌شود. در ابتدا مفهوم بهره‌وری، کارایی محیطزیستی و تحلیل پوششی داده‌ها تشریح و سپس به معرفی متغیرهای الگو پرداخته شده است.

از دیدگاه اقتصادی شاخص بهره‌وری مطرح‌ترین معیار سنجش عملکرد است و اقدام به اندازه‌گیری آن اساسی‌ترین گام در جهت ارتقا کارایی و بهره‌وری است، بدین معنا که مشخص می‌کند دقیقا چه منابعی صرف شده و در قبال آن چه چیزی حاصل شده است [17]. سازمان همکاری‌های اقتصادی اروپا (*OEEC*)، در سال ۱۹۵۰ بهره‌وری را به‌صورت نسبت میزان محصول به یکی از عوامل تولید تعریف نمود و سامانت در سال ۱۹۷۹ بهره‌وری را نسبتی از خروجی‌های ملموس به ورودی‌های ملموس تعریف می‌کند [18]. ازآنجایی‌که منابع تولید کمیاب هستند، برای حداکثر کردن تولید محصولات راهبردی کشاورزی لازم است میزان عملکرد استان‌ها با توجه به نهاده‌های کمیاب مصرفی بخش کشاورزی مانند آب در دسترس و زمین زراعی افزایش یابد. هر تلاشی برای افزایش کارایی و بهره‌وری شامل کمی‌کردن، تجزیه‌وتحلیل و برنامه‌ریزی، در چرخه بهبود بهره‌وری قرار می‌گیرد. اندازه‌گیری تغییرات فناوری و تغییرات کارایی مهم‌ترین گام برای هرگونه تحلیل و بهبود عملکرد است.

راه‌های مختلفی برای محاسبه کارایی محیطزیستی وجود دارد. چهار نمونه از مهم‌ترین روش‌ها عبارت است از روش حداقل مربعات، شاخص بهره‌وری کل عوامل (*TFP*)، تحلیل پوششی داده‌ها (*DEA*) و مرزهای تصادفی. این چهار روش را می‌توان با توجه به مبناهای مختلفی ازجمله قدرت تشخیص ناکارایی، پارامتریک یا ناپارامتریک بودن، فرضیه‌های رفتاری و یا تشخیص خطاهای تصادفی دسته‌بندی کرد [19]. روش انتخاب‌شده در مطالعه حاضر روش تحلیل پوششی داده‌ها است. در ادامه به تفصیل روش مورداستفاده و متغیرها را موردمطالعه توضیح داده شده تا ضمن درک عمیق‌تر، چرایی انتخاب آن‌ها نیز مشخص شود.

۳-۱- تحلیل پوششی داده‌ها

تحلیل پوششی داده‌ها یک رویکرد ناپارامتریک است که نیازی به مشخص نمودن فرم تابعی ندارد و از روش‌های برنامه‌ریزی ریاضی استفاده، کارایی هر واحد تصمیم‌ساز را نسبت به سایرین سنجیده و موقعیت هر *DMU* نسبت به مرز کارایی مقایسه می‌کند. نگرشی بسیار مفید و کارآمد در *DEA*، شاخص بهره‌وری مالم‌کوئیست (*MPI*) است. این رویکرد ناپارامتریک نخستین بار توسط چارنز، کوپر و رودز [20] ارایه شد. در این روش منحنی مرزی کارا از یک سری نقاط که به‌وسیله برنامه‌ریزی خطی تعیین می‌شود ایجاد شده و موقعیت هر استان که روی مرز کارایی قرار گرفته است یا نه را مشخص می‌نماید. بدین‌وسیله استان‌های کارا و ناکارا از یکدیگر تفکیک می‌شوند. تحلیل پوششی داده‌ها با توجه به فناوری تولیدی مورداستفاده در الگو، به دو نوع بازدهی ثابت به مقیاس و بازدهی متغیر به مقیاس تقسیم می‌شوند. فرض بازدهی ثابت نسبت به مقیاس بیانگر این است که با تغییر سهم نهاده‌ها، ستانده‌ها نیز به همان نسبت تغییر می‌کنند. به کار بردن الگوهای بازده ثابت نسبت به مقیاس زمانی مناسب است که همه واحدهای تصمیم‌ساز در مقیاس بهینه یعنی قسمت مسطح منحنی هزینه متوسط بلندمدت عمل کنند اما عواملی از قبیل عدم وجود رقابت کامل، محدودیت‌های مالی و غیره ممکن است باعث شوند که واحدها در مقیاس بهینه عمل نکنند؛ بنابراین فرض بازدهی متغیر نسبت به مقیاس بیانگر این است که با تغییر نهاده‌ها، ستانده‌ها به همان نسبت تغییر نمی‌کنند. الگوهای بازدهی متغیر نسبت به مقیاس نیز خود به سه الگوی بازده نسبت به مقیاس افزایشی (*IRS*)، بازدهی نسبت به مقیاس کاهشی (*DRS*) و بازده نسبت به مقیاس عمومی (*GRS*) تقسیم می‌شود. الگوی تحلیل پوششی

دوره ۵، شماره ۱، (۱۴۰۳)
صفحه:۱۳۲-۱۰۹

داده‌ها می‌توانند محصول‌گرا یا نهاده‌گرا باشند. در الگوهای محصول‌گرا هدف حداکثر کردن تولید با توجه به مقدار معین نهاده‌ها می‌باشد، اما در روش نهاده‌گرا هدف حداقل استفاده از نهاده‌ها با توجه به یک سطح معین محصول است [21].

۲-۳- الگوی تجربی تحقیق با به‌کارگیری تحلیل پوششی داده‌ها

در این مطالعه متغیرهای مورداستفاده شامل مقدار تولید گندم به‌عنوان ستانده مطلوب (O)، میزان انتشار دی‌اکسید کربن از تولید گندم آبی به‌عنوان ستانده نامطلوب (U) در شاخص مالم‌کوئیست استفاده می‌شوند. مقدار تامین آب از منابع مختلف (I_1)، هزینه آماده‌سازی زمین (I_2)، مقدار مصرف کودهای شیمیایی (I_3)، مقدار مصرف سموم شیمیایی (I_4)، تعداد نفر-روز نیروی کار (I_5)، تعداد ساعت استفاده از ماشین‌آ لات (I_6)، مقدار مصرف کود حیوانی (I_7) و مقدار بذر مصرفی (I_8) به‌عنوان نهاده مورداستفاده قرار گرفته و تحلیل پوششی داده‌ها با بازده ثابت به مقیاس درنظر گرفته شده است. جامعه آماری این مطالعه کل کشور بوده و اطلاعات مورداستفاده در بعد استانی و به تفکیک ۳۱ استان کشور جمع‌آوری می‌گردد. استان گیلان به دلیل مجاورت با دریای خزر، بهره‌گیری از باران، رطوبت کافی و خاک‌های آبرفتی یکی از قطب‌های کشاورزی و حاصلخیزی کشور بوده و در تولید محصولات کشاورزی و تامین نیازهای غذایی نقش اساسی دارد. استقرار استان گیلان در ارتفاعات البرز و در حاشیه دریای خزر و تاثیر متقابل این دو پدیده جغرافیایی بر یکدیگر و بازتاب آن بر شرایط اقلیمی استان، ایجاب می‌کند کشاورزان استان گیلان محصول گندم را به‌صورت دیم کشت کنند. طبق آمارنامه کشاورزی در سال‌های زراعی موردبررسی سطح زیر کشت گندم آبی استان گیلان بسیار ناچیز است پس استان گیلان کارایی فنی و کارایی محیط‌زیستی گندم آبی هم ندارد و به دلیل همگنی دیگر استان‌ها می‌توان در جامعه آماری موردمطالعه ارزیابی نگردد. اطلاعات مورداستفاده مطالعه در بازه زمانی سال‌های زراعی ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۷ جمع‌آوری شده است، به دلیل عدم دسترسی داده‌ها و اطلاعات زراعی سال‌های ۱۳۹۷ تا ۱۴۰۰ درنظر گرفته نشده است. برای اندیس‌ها، پارامترها و متغیرهای الگوهای مورداستفاده، نمادهایی درنظر گرفته شده که در **جدول ۲** ارایه شده است.

جدول ۲- نمادهای درنظر گرفته شده برای اندیس‌ها و پارامترهای مورداستفاده.
Table 2- Symbols considered for indices and parameters used.

مشخصات اندیس	اندیس	مشخصات اندیس	اندیس
تعداد نهاده (آب/مترمکعب، اجاره زمین/هزار ریال، بذر/کیلوگرم، کود شیمیایی/کیلوگرم، کود حیوانی/کیلوگرم، سموم شیمیایی/کیلوگرم، تعداد نیروی کار/نفر در سال و ماشین‌آلات/تعداد ساعت در سال)	i	تعداد واحد تصمیم‌گیرنده	j
تعداد ستانده مطلوب (مقدار گندم آبی/تن در سال)	r	تعداد ستانده نامطلوب (میزان انتشار گاز دی‌اکسید کربن/کیلوگرم در سال)	f
مشخصات پارامتر	**پارامتر**	**مشخصات پارامتر**	**پارامتر**
متغیرهای کمکی مربوط به نهاده‌ها	S_i^I	دامنه ستانده‌های مطلوب	D_r^o
متغیرهای کمکی مربوط به ستانده‌های مطلوب	S_r^O	دامنه ستانده‌های نامطلوب	D_f^u
متغیرهای مربوط به ستانده‌های نامطلوب	S_f^U	یک بردار ستونی از متغیرهای ناشناخته ستانده مطلوب	λ_j
دامنه[1] نهاده‌ها	D_i^I	متغیر عددی ناشناخته	ε

با توجه به اینکه مصرف سوخت ماشین‌آ لات کشاورزی تابع عوامل و متغیرهای متعددی نظیر مشخصات فنی ماشین، عمر ماشین، ساعت کارکرد، نوع عملیات، نوع محصول، عملکرد محصول، نوع خاک، اندازه و پراکندگی قطعات و شرایط آب و هوایی می‌باشد که در حال حاضر توسط سیستم‌های نظارتی و توزیع‌کننده سوخت قابل کنترل نیست لذا ضرورت دارد سازوکارهای مناسبی در تامین سوخت و یا پرداخت یارانه مربوطه اعمال شود، از طرفی ماشین‌آ لات کشاورزی نیز در کنار سایر نهاده‌های کشاورزی نظیر کود، سم و غیره می‌بایستی به‌طور موثر و با بهره‌وری در تولید پایدار محصولات اساسی کشاورزی قرار گیرند. با توجه به مشخص بودن سطح زیر کشت گندم آبی هر استان و میزان ساعات کارکرد موردنیاز جهت

---
[1] Range

انجام عملیات مکانیزه سطح مذکور و میانگین مصرف سوخت ساعتی ماشین‌آلات کشاورزی و مشخص بودن ضریب انتشار گاز گلخانه‌ای نهاده‌ها در تولید گندم آبی می‌توان میزان انتشار گاز CO_2 ناشی از عوامل تولید را به‌عنوان خروجی نامطلوب محاسبه کرد.

در مطالعه حاضر برای تخمین میزان انتشار از فاکتورهای انتشار (EF) استفاده شده است. فاکتورهای انتشار ضرایبی هستند که در میزان انتشار ناشی از عوامل مختلف تولیدکننده گازهای گلخانه‌ای ضرب شده و میزان انتشار را به کیلوگرم دی‌اکسید کربن، اکسید نیتروس و غیره تبدیل می‌کنند [22]. **رابطه (۱)** به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$E = \sum (C_i F_i). \quad (۱)$$

که در آن E مجموع انتشار CO_2 از عوامل تولید و C_i با ضریب تبدیل انتشار دی‌اکسید کربن مناسب برای هر عامل F_i ضرب شده است. ضریب انتشار گاز گلخانه‌ای نهاده‌ها در تولید گندم آبی در **جدول ۳** ارایه شده است.

جدول ۳- ضریب انتشار گاز گلخانه‌ای نهاده‌ها در تولید گندم آبی.

Table 3- Greenhouse gas emission coefficient of inputs in water wheat production.

نهاده (واحد)	ضریب انتشار گاز گلخانه‌ای (کیلوگرم معادل دی‌اکسید کربن بر واحد)	مرجع
کود فسفر (P_2O_2) (کیلوگرم)	0/2	[23]
کود نیتروژن (N) (کیلوگرم)	1/3	[23]
کود پتاسیم (K_2O) (کیلوگرم)	0/15	[23]
کود دامی (FYM)	0/126	[24]
سم قارچ‌کش (لیتر یا کیلوگرم)	3/9	[23]
سم علف‌کش (لیتر یا کیلوگرم)	6/3	[23]
سم حشره‌کش (لیتر یا کیلوگرم)	5/1	[23]
سوخت دیزل (لیتر)	2/64	[25]

فرضیات پژوهش به شرح ذیل است که پذیرش یا عدم پذیرش هر کدام از فرضیات موردبررسی قرار می‌گیرد:

۱. کارایی محیط‌زیستی در تولید گندم آبی در استان‌های ایران طی سال‌های موردبررسی کاهشی بوده است.
۲. کارایی فنی در تولید گندم آبی در استان‌های ایران طی سال‌های موردبررسی افزایشی بوده است.

۳-۳- شاخص بهره‌وری مالم‌کوئیست

شاخص مالم‌کوئیست ابتدا در سال ۱۹۵۳ توسط استن مالم‌کوئیست[1] به‌عنوان شاخص کیفیت به‌صورت نسبت‌های توابع مسافت[2] و یا توابع فاصله و به‌منظور تجزیه‌وتحلیل مصرف منابع تولید معرفی و سپس در سال ۱۹۸۲ توسط کیوز و همکاران [26] به‌عنوان شاخصی برای اندازه‌گیری بهره‌وری مطرح شد. فار و همکاران [27] برای محاسبه شاخص مالم‌کوئیست از روش تحلیل پوششی داده‌ها استفاده کردند، این شاخص تغییرات بهره‌وری کل را اندازه‌گیری می‌کند و بهره‌وری کل را به دو جز تغییرات کارایی فنی (رسیدن به مرز کارایی) و تغییرات فناوری (انتقال مرز کارایی) تفکیک می‌نماید. شاخص بهره‌وری مالم‌کوئیست در راستای ستانده دوره‌های t و $t\text{-}1$ به‌صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$M^t = \frac{D_t^t\ I_i^t, Z_i^t)}{D_i^t\left(I_i^{t-1}, Z_i^{t-1}\right)}. \quad (۲)$$

اگر فناوری دوره $t\text{-}1$ به‌عنوان فناوری مرجع استفاده شود، شاخص مالم‌کوئیست برای DMU_i و $i = 1,2,3,\cdots,n)$ بین دوره t و $t\text{-}1$ به‌صورت زیر است:

[1] Estan Malmquist

[2] Distance function

$$M^{t-1} = \frac{D_t^{t-1}\ I_i^t,\ Z_i^t)}{D_i^{t-1}\left(I_i^{t-1},\ Z_i^{t-1}\right)}. \qquad (۳)$$

که در آن نماد $D_t^{t-1}\left(I_i^t,\ Z_i^t\right)$ به تابع مسافت مشاهدات دوره *t* با فناوری به دوره *t-1* اشاره دارد. به‌منظور اجتناب از انتخاب اختیاری فناوری پایه، شاخص بهره‌وری کل عوامل تولید برحسب میانگین هندسی این دو عبارت بیان می‌شود، یعنی

$$M^{t-1} = \left[D_t^{t-1}\ I_i^t,\ Z_i^t) \times D_i^{t-1}\left(I_i^{t-1},\ Z_i^{t-1}\right) / D_t^t\ I_i^t,\ Z_i^t) \times D_i^t\left(I_i^{t-1},\ Z_i^{t-1}\right)\right]^{1/2}. \qquad (۴)$$

که این عبارت قابل‌تفکیک به دو بخش است.

$$D_t^t\ I_i^t,\ Z_i^t)/D_i^{t-1}\left(I_i^{t-1},\ Z_i^{t-1}\right)\left[D_t^{t-1}\ I_i^t,\ Z_i^t)/D_t^t\ I_i^t,\ Z_i^t) \times D_i^{t-1}\left(I_i^{t-1},\ Z_i^{t-1}\right)/D_i^t\left(I_i^{t-1},\ Z_i^{t-1}\right)\right]^{1/2}. \qquad (۵)$$

رابطه بالا تغییر بهره‌وری از دوره *t-1* به دوره *t* را با به‌کار بردن فناوری دوره *t-1* به‌عنوان یک شاخص و فناوری دوره *t* به‌عنوان یک شاخص به ترتیب در کسر اول و دوم اندازه می‌گیرد. همان‌طور که بیان شد شاخص بهره‌وری مالم‌کوئیست بین دو دوره زمانی را می‌توان به دو جز تجزیه کرد.

$$EC = D_t^t\ I_i^t,\ Z_i^t)/D_i^{t-1}\left(I_i^{t-1},\ Z_i^{t-1}\right). \qquad (۶)$$

$$TC = \left[D_t^{t-1}\ I_i^t,\ Z_i^t)/D_t^t\ I_i^t,\ Z_i^t) \times D_i^{t-1}\left(I_i^{t-1},\ Z_i^{t-1}\right)/D_i^t\left(I_i^{t-1},\ Z_i^{t-1}\right)\right]^{1/2}. \qquad (۷)$$

EC تغییرات کارایی فنی و *TC* تغییرات فناوری که انتقال تابع مرزی بین دو دوره *t* و *t-1* را اندازه می‌گیرد. اگر *EC* بزرگ‌تر از یک باشد پیشرفت کارایی *DMU* (نزدیک به مرز تولید)، اگر *EC* مساوی با یک باشد بدون تغییر کارایی و اگر *EC* کوچک‌تر از یک باشد پسرفت کارایی *DMU* موردنظر از دوره *t-1* به دوره *t* (دور از مرز تولید) است. حاصل‌ضرب دو نسبت داخل کروشه، تغییرات تابع مرزی را طی دو دوره زمانی *t-1* و *t* محاسبه می‌کند. تابع مسافت *z* درصورتی‌که بر روی مرز مجموعه تولید (منحنی امکانات تولید) باشد معادل یک خواهد بود. در این‌جا $D_i^t\left(I_i^{t-1},\ Z_i^{t-1}\right)$ نشان‌دهنده فاصله زمانی مشاهدات *t-1* تا *t* است. مقدار M^{t-1} اگر بزرگ‌تر از یک باشد، نشان‌دهنده رشد مثبت بهره‌وری کل عوامل طی زمان *t-1* تا *t* است و هنگامی‌که از یک کوچک‌تر باشد سیر نزولی بهره‌وری کل عوامل را نشان می‌دهد. بنابراین با استفاده از این روش می‌توان دریافت که چه میزان از بهره‌وری به دلیل استفاده کارا از عوامل تولید و نیز چه مقدار به دلیل تغییرات ناشی از فناوری بوده است [28]. چنانچه میزان شاخص مالم‌کوئیست بر مبنای حداقل‌سازی عوامل تولید، کمتر از یک باشد، بر بهبود عملکرد دلالت دارد و اگر بزرگ‌تر از یک باشد به کاهش عملکرد در زمان اشاره می‌نماید. از طرف دیگر، اگر مبنا حداکثر سازی محصول باشد؛ چنانچه مقدار شاخص مالم‌کوئیست کمتر از واحد شود، عملکرد بنگاه بدتر شده است و اگر مقدار شاخص مذکور بزرگ‌تر از یک باشد نشان‌دهنده بهبود عملکرد آن بنگاه خواهد بود. در **معادله (۵)** کسر خارج از کمانک، **معادله (۶)** تغییرات کارایی را در زمان‌ها *t-1* و *t* اندازه‌گیری می‌نماید. قسمت داخل کمانک، **معادله (۷)** تغییرات فناوری را اندازه‌گیری می‌کند یعنی تغییرات کارایی نشان‌دهنده نسبت کارایی در زمان *t-1* به کارایی در زمان *t* است. در **معادله (۷)** کسر اول داخل کمانک نشان‌دهنده فناوری زمان *t-1* و کسر دوم مربوط به فناوری زمان *t* می‌باشد که به‌صورت میانگین هندسی این دو نشان داده می‌شود.

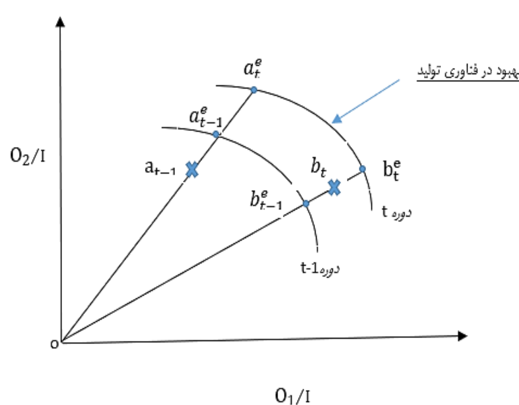
برای هر بنگاه یا واحد تصمیم‌ساز در هر زمان باید چهار تابع مسافت را محاسبه کرد. روش‌های بسیاری برای اندازه‌گیری توابع مسافت وجود دارد و معروف‌ترین آن‌ها روش برنامه‌ریزی خطی می‌باشد. با داشتن داده‌های تلفیقی می‌توان از روش تحلیل پوششی داده‌ها برای محاسبه بهره‌وری کل و اجزای آن استفاده نمود. در شرط فناوری با بازده ثابت نسبت به مقیاس این چهار تابع به‌صورت زیر خواهد بود. اصطلاح «کارایی» که در این جا استفاده می‌شود یک معیار عملکرد بین ۰% (ناکارآمدی کامل) و ۱۰۰% (کارایی کامل) است. در همین حال، اصطلاح دیگری «شاخص» برای بیان معیاری که ممکن است بیش از واحد (۱۰۰%) باشد، استفاده می‌شود. هنگامی‌که شاخص بیش از واحد باشد، نشان‌دهنده وقوع احتمالی تغییر مرز به دلیل توسعه فناوری و یا تلاش مدیریتی است در مقابل، اگر مساوی یا کمتر از واحد باشد، حالت مخالف را می‌توان یافت. در این مطالعه چهار شکل به‌عنوان مبنای تحلیلی برای محاسبه شاخص مالم‌کوئیست با وقوع تقاطع مرزی و عدم وقوع تقاطع مرزی تحت دو مفهوم دسترسی طبیعی و دسترسی مدیریتی عمل می‌کنند [19].

دسترسی طبیعی[1]

این مفهوم اشاره بر آن دارد که یک واحد تصمیم‌ساز (*DMU*) تلاش خود را به کاهش خروجی‌های نامطلوب با کاهش ورودی‌ها اختصاص داده است. می‌توان آن را به‌عنوان یک استراتژی انفعالی برای مقررات محیطزیستی درنظر گرفت.

دسترسی طبیعی با عدم وقوع تقاطع مرزی

همان‌طور که در **شکل ۱** مشاهده می‌شود تغییر خط مرزی از دوره *t-1* را به دوره زمانی *t* تحت دسترسی طبیعی نشان می‌دهد؛ که در آن DMU_S عملکرد عملیاتی[2] خود را در اولویت اول و عملکرد محیطزیستی[3] را در اولویت دوم درنظر می‌گیرد و شامل یک نهاده *I* و دو ستانده مطلوب O_1 و O_2 می‌باشد. فرض می‌شود مقدار ستانده نامطلوب *U* برای همه DMU_S یکسان است لذا تاثیر بر تغییر مرز ندارند.



شکل ۱- تغییر مرز بین دو دوره t و t-1 تحت دسترسی طبیعی.

Figure 1- Changing the boundary between t and t-1 periods under natural access.

همان‌طور که در ادامه در معادلات پیشنهادی *DEA* مشاهده می‌شود، این توصیف بصری به‌راحتی به چندین نهاده و ستاده مطلوب قابل‌گسترش است. a_{t-1} تا a_{t-1}^e عملکرد مشاهده‌شده واحد تصمیم‌گیری *DMU* روی مرز کارایی دوره *t-1* و $a_t{}^e$ روی مرز کارایی دوره *t* در مدت‌زمان $t = 2, \cdots, T$ پیش‌بینی شده است. همچنین b_t تا b_{t-1}^e عملکرد مشاهده‌شده واحد تصمیم‌گیری *DMU* روی مرز کارایی دوره *t-1* و $b_t{}^e$ روی مرز کارایی دوره *t* پیش‌بینی شده است. بالانویس *e* نمایانگر مرز کارایی که عملکرد مشاهده‌شده در آن نمایش داده می‌شود. پیشرفت فناوری در ستانده‌های مطلوب بین دو دوره، خط مرزی را در مسیر شمال–شرق انتقال می‌دهد که به دلیل بهبود فناوری است. مرز کارایی دسترسی طبیعی به سمت افزایش ستانده مطلوب بدون هیچ‌گونه تلاقی مرزی بین دو دوره تغییر می‌کند. میانگین هندسی که نشان‌دهنده شاخص مالم‌کوئیست تحت دسترسی طبیعی است توسط معادله زیر بیان می‌شود:

$$IN_{t-1}^t = [Oa_t^e \times Ob_t^e / Oa_{t-1}^e \times Ob_{t-1}^e]^{1/2}. \quad (۸)$$

معادلات تحت دسترسی طبیعی

برای اندازه‌گیری IN_{t-1}^t و INC_{t-1}^t شش مولفه وجود دارد که در ادامه بیان شده است؛ چهار مولفه اول تحت دسترسی طبیعی با عدم وقوع تقاطع مرزی و دو مولفه دیگر تحت دسترسی طبیعی با وقوع تقاطع مرزی است.

۱. UEN_{t-1}^R کارایی یکپارچه در دوره *t-1*.
۲. UEN_t^R کارایی یکپارچه در دوره *t*.
۳. $IUIN_{t-1\to t}^R$ شاخص یکپارچه بین دوره زمانی *t-1* تا *t*.

[1] Natural disposability
[2] Operational performance
[3] Environmental performance

۴. $IUIN^{R}_{t\to t-1}$ شاخص یکپارچه بین دوره زمانی *t* تا *t-1*.
۵. $IUEN^{R}_{t-1\to t-1\&t}$ کارایی یکپارچه بین دوره زمانی *t-1* تا مجموع *t-1* و *t*.
۶. $IUEN^{R}_{t\to t-1\&t}$ کارایی یکپارچه بین دوره زمانی *t* تا مجموع *t-1* و *t*.

شاخص مالم‌کوئیست را بین دو دوره *t-1* و *t* با عدم وقوع تقاطع مرزی را می‌توان به‌صورت زیر بازنویسی کرد:

$$IN^{t}_{t-1} = [Oa^{e}_{t} \times Ob^{e}_{t}/Oa^{e}_{t-1} \times Ob^{e}_{t-1}]^{1/2}$$
$$\Rightarrow\ IN^{t}_{t-1} = \left[UEN^{R}_{t-1} \times IUIN^{R}_{t\to t-1}/\ IUIN^{R}_{t-1\to t} \times UEN^{R}_{t}\right]^{1/2}. \tag{۹}$$

تمام معیارهای کارایی و شاخص با اندازه‌گیری شعاعی *R* تحت دسترسی طبیعی و بازده ثابت نسبت به مقیاس تعیین می‌شود. جایی UEN^{R}_{t-1} و UEN^{R}_{t} دو معیار کارایی هستند که در محدوده بین صفر (ناکارایی کامل) و یک (کارآیی کامل) قرار دارند، درحالی‌که $IUIN^{R}_{t\to t-1}$ و $IUIN^{R}_{t-1\to t}$ ممکن است بزرگ‌تر یا کوچک‌تر از یک باشند که به وقوع تقاطع مرزی بین دو دوره بستگی دارند. این معیارها را می‌توان توسط پنج الگوی *DEA* معادله کرد که هرکدام از آن‌ها به‌صورت زیر مشخص شده‌اند.

معادلات تحت دسترسی طبیعی با عدم وقوع تقاطع مرزی

مقدار UEN^{R}_{t} برای DMU، *Kth* در دوره t $(t = 2,\cdots,T)$ با الگوی زیر نشان داده شده است:

$$\begin{aligned}
&Maximize\ \xi + \varepsilon\left(\textstyle\sum_{i=1}^{m} D^{I}_{i} S^{I-}_{i} + \sum_{r=1}^{n} D^{o}_{r} S^{o}_{r} + \sum_{f=1}^{h} D^{u}_{f} S^{u}_{f}\right)\\
&\sum_{j\in J_T} I_{ijt}\ \lambda_{jt} + S^{I-}_{i} = I_{jkt}\quad k\in J_T \ and\ i = 1,\cdots,m),\\
&\sum_{j\in J_T} O_{rjt}\ \lambda_{jt} - S^{o}_{r} - \xi O_{rkt} = O_{rkt}\quad k\in J_T\ and\ r = 1,\cdots,n),\\
&\sum_{j\in J_T} U_{fjt}\ \lambda_{jt} + S^{u}_{f} + \xi U_{fkt} = U_{fkt}\quad k\in J_T\ and\ f = 1,\cdots,h),\\
&\lambda_{jt} \ge 0\quad j = 1,\cdots,n\ and\ t = 2,\cdots,T)\ ,\ \xi : URS,\ S^{I-}_{i} \ge\ 0\ \ i = 1,\cdots,m),\\
&S^{o}_{r} \ge\ 0\ \ r = 1,\cdots,n),\ S^{u}_{f} \ge\ 0\ \ f = 1,\cdots,h),
\end{aligned} \tag{۱۰}$$

که کران بالا و پایین نهاده‌ها، ستانده‌های مطلوب و نامطلوب به ترتیب توسط معادلات زیر مشخص شده است:

$$\begin{aligned}
D^{I}_{i} &= (m+n+h)^{-1}\left(max\left\{I_{ij}\,J_{t-1}\,J_t\right\} - min\left\{I_{ij}\,J_{t-1}\,J_t\right\}\right)^{-1},\\
D^{o}_{r} &= (m+n+h)^{-1}\left(max\left\{O_{rj}\,J_{t-1}\,J_t\right\} - min\left\{O_{rj}\,J_{t-1}\,J_t\right\}\right)^{-1},\\
D^{u}_{f} &= (m+n+h)^{-1}\left(max\left\{U_{fj}\,J_{t-1}\,J_t\right\} - min\left\{U_{fj}\,J_{t-1}\,J_t\right\}\right)^{-1}.
\end{aligned} \tag{۱۱}$$

مقدار $IUIN^{R}_{t-1\to t}$ برای DMU، *Kth* از دوره *t-1* به دوره t $(t = 2,\cdots,T)$ با الگوی زیر نشان داده شده است:

$$\begin{gathered}Maximize\ \xi+\varepsilon\left(\sum_{i=1}^{m} D_i^I S_i^{I-}+\sum_{r=1}^{n} D_r^o S_r^o+\sum_{f=1}^{h} D_f^u S_f^u\right)\\ \sum_{j\in J_T} I_{ijt}\ \lambda_{jt}+S_i^{I-}=I_{jkt-1}\quad k\in J_T\ and\ i=1,\cdots,m),\\ \sum_{j\in J_T} O_{rjt}\ \lambda_{jt}-S_r^o-\xi O_{rkt-1}=O_{rkt-1}\quad k\in J_T\ and\ r=1,\cdots,n),\\ \sum_{j\in J_T} U_{fjt}\ \lambda_{jt}+S_f^u+\ \xi U_{fkt-1}=U_{fkt-1}\quad k\in J_T\ and\ f=1,\cdots,h),\\ j=1,\cdots,n\ and\ t=2,\cdots,T),\xi:\ URS, S_i^{I-}\geq\ 0\ \ i=1,\cdots,m)\lambda_{jt}\geq 0,\\ S_f^u\geq\ 0\ \ f=1,\cdots,h),\quad S_r^o\geq\ 0\ \ r=1,\cdots,n).\end{gathered} \tag{۱۲}$$

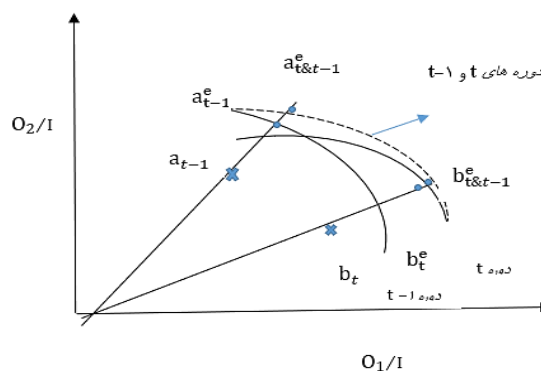
مقدار $IUIN_{t\to t-1}^{R}$ برای DMU، Kth از دوره t به دوره t-1 $(t=2,\cdots,T)$ با الگوی زیر نشان داده شده است:

$$\begin{gathered}Maximize\ \xi+\varepsilon\left(\sum_{i=1}^{m} D_i^I S_i^{I-}+\sum_{r=1}^{n} D_r^o S_r^o+\sum_{f=1}^{h} D_f^u S_f^u\right)\\ \sum_{j\in J_T} I_{ijt-1}\ \lambda_{jt-1}+S_i^{I-}=I_{jkt}\quad k\in J_T\ and\ i=1,\cdots,m),\\ \sum_{j\in J_T} O_{rjt-1}\ \lambda_{jt-1}-S_r^o-\xi O_{rkt}=O_{rkt}\quad k\in J_T\ and\ r=1,\cdots,n),\\ \sum_{j\in J_T} U_{fjt-1}\ \lambda_{jt-1}+S_f^u+\ \xi U_{fkt}=U_{fkt}\quad k\in J_T\ and\ f=1,\cdots,h),\\ j=1,\cdots,n\ and\ t=2,\cdots,T),\xi:\ URS, S_i^{I-}\geq 0\ \ i=1,\cdots,m)\ \lambda_{jt-1}\geq 0,\\ S_f^u\geq\ 0\ \ f=1,\cdots,h),\quad S_r^o\geq\ 0\ \ r=1,\cdots,n).\end{gathered} \tag{۱۳}$$

دسترسی طبیعی با احتمال وقوع تقاطع مرزی

همان‌طور که در **شکل ۲**، مشاهده می‌شود خط مرزی از دوره t-1 به دوره زمان t را تحت دسترسی طبیعی به‌صورت خط نقطه‌چین بالای منحنی انتقال می‌یابد که نشانگر مرز جدید برای دوره‌های t و t-1 است. برای دستیابی به وضعیت کارایی a_{t-1} و b_t نیاز به تغییر مکان خود به $a_{t\&t-1}^{e}$ و $b_{t\&t-1}^{e}$ روی مرز جدید است [29]. میانگین هندسی نشان‌دهنده شاخص مالم‌کوئیست تحت دسترسی طبیعی است توسط معادله زیر بیان می‌شود:

$$INC_{t-1}^{t}=[Oa_{t\&t-1}^{e}\times Ob_{t\&t-1}^{e}/Oa_{t-1}^{e}\times Ob_{t}^{e}]^{1/2}. \tag{۱۴}$$



شکل ۲- تقاطع مرزی بین دو دوره t و t-1 تحت دسترسی طبیعی.

Figure 2- Boundary intersection between two periods t and t-1 under natural access.

معادلات دسترسی طبیعی با احتمال وقوع تقاطع مرزی

همان‌طور که در **شکل ۲** مشاهده گردید، **معادله (۱۴)** تحت دسترسی طبیعی توسط الگوی زیر با تقاطع مرزی بیان می‌شود:

$$\begin{gathered}INC_{t-1}^{t}=[Oa_{t\&t-1}^{e}\times Ob_{t\&t-1}^{e}/Oa_{t-1}^{e}\times Ob_{t}^{e}]^{1/2}\\ \Rightarrow INC_{t-1}^{t}=\left[UEN_{t-1}^{R}\times\ UEN_{t}^{R}/IUEN_{t-1\to t-1\&t}^{R}\times IUEN_{t\to t-1\&t}^{R}\right]^{1/2},\end{gathered} \tag{۱۵}$$

که در آن INC_{t-1}^{t} به چهار جز فرعی تقسیم می‌شود که همه آن‌ها ($IUEN_{t\rightarrow t-1\&t}^{R}$، $IUEN_{t-1\rightarrow t-1\&t}^{R}$، UEN_{t}^{R} و UEN_{t-1}^{R} برای اندازه‌گیری تغییر مرز بین دو دوره استفاده می‌شوند. بنابراین مقدار $IUEN_{t-1\rightarrow t-1\&t}^{R}$ برای *DMU Kth* بین دو دوره با الگوی زیر نشان داده شده است:

$$\begin{gathered}Maximize\ \xi+\varepsilon\left(\sum\nolimits_{i=1}^{m}D_i^I S_i^{I-}+\sum\nolimits_{r=1}^{n}D_r^o S_r^o+\sum\nolimits_{f=1}^{h}D_f^u S_f^u,\right)\\ \sum_{j\in J_T} I_{ijt-1\&t}\ \lambda_{jt-1\&t}+S_i^{I-}=I_{jkt-1}\quad k\in J_T\ and\ i=1,\cdots,m),\\ \sum_{j\in J_T} O_{rjt-1\&t}\ \lambda_{jt-1\&t}-S_r^o-\xi O_{rkt-1}=O_{rkt-1}\quad k\in J_T\ and\ r=1,\cdots,n),\\ \sum_{j\in J_T} U_{fjt-1\&t}\ \lambda_{jt-1\&t}+S_f^u+\ \xi U_{fkt-1}=U_{fkt-1}\quad k\in J_T\ and\ f=1,\cdots,h),\\ j=1,\cdots,n\ and\ t=2,\cdots,T),\xi:\ URS,S_i^{I-}\geq 0\ \ i=1,\cdots,m)\ \lambda_{jt-1\&t}\geq 0,\\ S_f^u\geq\ 0\ \ f=1,\cdots,h),\quad S_r^o\geq\ 0\ \ r=1,\cdots,n).\end{gathered}\qquad (۱۶)$$

مقدار $IUEN_{t\rightarrow t-1\&t}^{R}$ برای DMU، *Kth* بین دو دوره *t* و *t-1* توسط الگوی زیر نشان داده شده است:

$$\begin{gathered}Maximize\ \xi+\varepsilon\left(\sum\nolimits_{i=1}^{m}D_i^I S_i^{I-}+\sum\nolimits_{r=1}^{n}D_r^o S_r^o+\sum\nolimits_{f=1}^{h}D_f^u S_f^u,\right)\\ \sum_{j\in J_T} I_{ijt-1\&t}\ \lambda_{jt-1\&t}+S_i^{I-}=I_{jkt}\quad k\in J_T\ and\ i=1,\cdots,m),\\ \sum_{j\in J_T} O_{rjt-1\&t}\ \lambda_{jt-1\&t}-S_r^o-\xi O_{rkt}=O_{rkt}\quad k\in J_T\ and\ r=1,\cdots,n),\\ \sum_{j\in J_T} U_{fjt-1\&t}\ \lambda_{jt-1\&t}+S_f^u+\ \xi U_{fkt}=U_{fkt}\quad k\in J_T\ and\ f=1,\cdots,h),\\ j=1,\cdots,n\ and\ t=2,\cdots,T),\xi:\ URS,S_i^{I-}\geq 0\ \ i=1,\cdots,m)\ \lambda_{jt-1\&t}\geq 0,\\ S_f^u\geq\ 0\ \ f=1,\cdots,h),\quad S_r^o\geq\ 0\ \ r=1,\cdots,n).\end{gathered}\qquad (۱۷)$$

دسترسی مدیریتی[1]

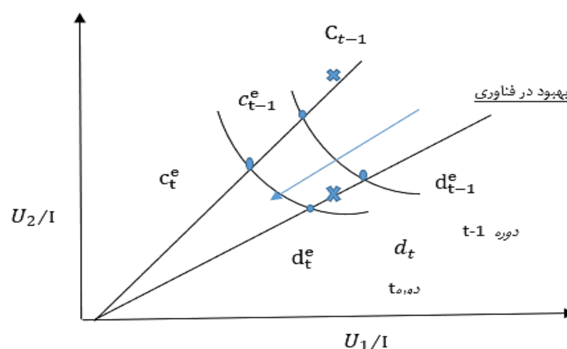
این مفهوم اشاره بر آن دارد که یک واحد تصمیم‌ساز *DMU* تلاش خود را به افزایش ورودی‌ها به‌منظور افزایش خروجی‌های مطلوب و کاهش خروجی‌های نامطلوب اختصاص داده است. به‌طور خاص، واحد تصمیم‌ساز تغییرات مقررات محیط‌زیست را به‌عنوان یک فرصت تجاری برای ارتقای بهره‌وری یکپارچه با استفاده از پیشرفت فناوری و روش‌های مدیریت علمی درنظر می‌گیرد؛ که می‌توان آن را به‌عنوان یک راهبرد مثبت در جهت مقررات محیط‌زیستی درنظر گرفت. در یک کلام، سرمایه‌گذاری بیشتر و انتشار کمتر (CO_2) است.

دسترسی مدیریتی با عدم وقوع تقاطع مرزی

همان‌طور که در **شکل ۳** مشاهده می‌شود تغییر خط مرزی از دوره *t-1* را به دوره زمانی *t* تحت دسترسی مدیریتی نشان می‌دهد که در آن DMU_S عملکرد محیط‌زیستی خود را در اولویت اول و عملکرد عملیاتی را در اولویت دوم درنظر می‌گیرد که شامل یک نهاده *I* و دو ستانده نامطلوب U_1 و U_2 می‌باشد. فرض می‌شود مقدار ستانده مطلوب *O* برای همه DMU_S یکسان است لذا تاثیر بر تغییر مرز ندارد. c_{t-1} تا c_{t-1}^{e} عملکرد مشاهده‌شده واحد تصمیم‌گیری *DMU* روی مرز کارایی دوره *t-1* و $c_t{}^{e}$ روی مرز کارایی دوره *t* در مدت‌زمان $t=2,\cdots,T$ پیش‌بینی شده است.

---

[1] Managerial disposability



شکل ۳- تغییر مرز بین دو دوره t و t-1 تحت دسترسی مدیریتی.

Figure 3- Changing the border between the two periods t and t-1 under managerial access.

همچنین d_t تا d^e_{t-1} عملکرد مشاهده‌شده واحد تصمیم‌گیری *DMU* روی مرز کارایی دوره *t-1* و d_t^e روی مرز کارایی دوره *t* پیش‌بینی شده است. تغییر خط مرزی به سمت مسیر جنوب غرب بدون هیچ‌گونه تلاقی مرزی بین دو دوره حرکت می‌کند با این فرض که پیشرفت فناوری در ستانده نامطلوب رخ دهد. میانگین هندسی که نشان‌دهنده شاخص مالم‌کوئیست تحت دسترسی مدیریتی است توسط معادله زیر بیان می‌شود:

$$IM^t_{t-1} = [Oc^e_{t-1} \times Od^e_{t-1} / Oc^e_t \times Od^e_t]^{1/2}. \qquad (۱۷)$$

معادلات تحت دسترسی مدیریتی

برای اندازه‌گیری IM^t_{t-1} و IMC^t_{t-1} شش مولفه وجود دارد که در زیر آورده شده است که چهار مولفه اول تحت دسترسی مدیریتی با عدم وقوع تقاطع مرزی و دو مولفه دیگر تحت دسترسی مدیریتی با وقوع تقاطع مرزی است.

۱. UEM^R_{t-1} کارایی یکپارچه در دوره *t-1*.
۲. UEM^R_t کارایی یکپارچه در دوره *t*.
۳. $IUIM^R_{t-1\to t}$ شاخص یکپارچه بین دوره زمانی *t-1* تا *t*.
۴. $IUIM^R_{t\to t-1}$ شاخص یکپارچه بین دوره زمانی *t* تا *t-1*.
۵. $IUEM^R_{t-1\to t-1\&t}$ کارایی یکپارچه بین دوره زمانی *t-1* تا مجموع *t-1* و *t*.
۶. $IUEM^R_{t\to t-1\&t}$ کارایی یکپارچه بین دوره زمانی *t* تا مجموع *t-1* و *t*.

تمام معیارهای کارایی و شاخص با اندازه‌گیری شعاعی *R* تحت دسترسی مدیریتی و بازده ثابت نسبت به مقیاس تعیین می‌شود.

معادلات تحت دسترسی مدیریتی با عدم وقوع تقاطع مرزی

شاخص مالم‌کوئیست را بین دو دوره *t* و *t-1* با عدم وقوع تقاطع مرزی را می‌توان به‌صورت زیر بازنویسی کرد:

$$IM^t_{t-1} = [Oc^e_{t-1} \times Od^e_{t-1} / Oc^e_t \times Od^e_t]^{1/2}$$
$$\Rightarrow IM^t_{t-1} = \left[UEM^R_{t-1} \times IUIM^R_{t\to t-1} / \, IUIM^R_{t-1\to t} \times UEM^R_t\right]^{1/2}. \qquad (۱۸)$$

این اقدامات را می‌توان توسط پنج الگو *DEA* معادله کرد که هرکدام از آن‌ها به‌صورت زیر مشخص شده‌اند. مقدار UEM^R_t برای DMU، *Kth* در دوره *t* $(t = 2, \cdots, T)$ با الگوی زیر نشان داده شده است:

$$\begin{gathered} Maximize\ \xi+\varepsilon\left(\sum_{i=1}^{m} D_i^I S_i^{I+}+\sum_{r=1}^{n} D_r^o S_r^o+\sum_{f=1}^{h} D_f^u S_f^u\right) \\ \sum_{j \in J_T} I_{ijt}\ \lambda_{jt}+S_i^{I+}=I_{jkt}\quad k \in J_T \text{ and } i=1,\cdots,m), \\ \sum_{j \in J_T} O_{rjt}\ \lambda_{jt}-S_r^o-\xi O_{rkt}\ =O_{rkt}\quad k \in J_T \text{ and } r=1,\cdots,n), \\ \sum_{j \in J_T} U_{fjt}\ \lambda_{jt}+S_f^u+\xi U_{fkt}=U_{fkt}\quad k \in J_T \text{ and } f=1,\cdots,h), \\ j=1,\cdots,n \text{ and } t=2,\cdots,T), \xi:\ URS, S_i^{I+} \geq\ 0\ \ i=1,\cdots,m) \lambda_{jt} \geq 0, \\ S_f^u \geq\ 0\ \ f=1,\cdots,h),\quad S_r^o \geq\ 0\ \ r=1,\cdots,n). \end{gathered} \tag{۱۹}$$

مقدار $IUIM_{t-1\to t}^R$ برای DMU، Kth از دوره t-1 به دوره t $(t=2,\cdots,T)$ با الگوی زیر نشان داده شده است:

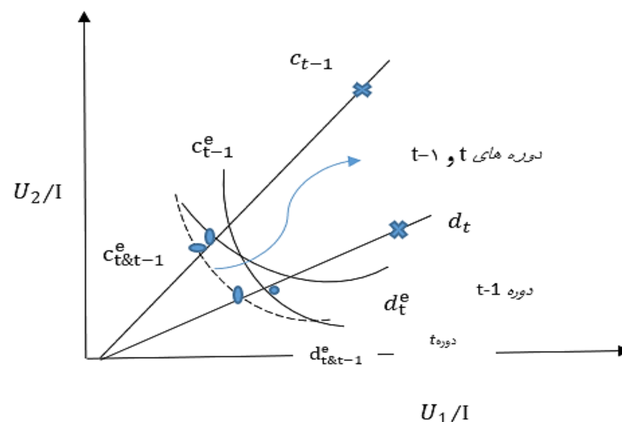
$$\begin{gathered} Maximize\ \xi+\varepsilon\left(\sum_{i=1}^{m} D_i^I S_i^{I+}+\sum_{r=1}^{n} D_r^o S_r^o+\sum_{f=1}^{h} D_f^u S_f^u\right) \\ \sum_{j \in J_T} I_{ijt}\ \lambda_{jt}+S_i^{I+}=I_{jkt-1}\quad k \in J_T \text{ and } i=1,\cdots,m), \\ \sum_{j \in J_T} O_{rjt}\ \lambda_{jt}-S_r^o-\xi O_{rkt-1}=O_{rkt-1}\quad k \in J_T \text{ and } r=1,\cdots,n), \\ \sum_{j \in J_T} U_{fjt}\ \lambda_{jt}+S_f^u+\ \xi U_{fkt-1}=U_{fkt-1}\quad k \in J_T \text{ and } f=1,\cdots,h), \\ j=1,\cdots,n \text{ and } t=2,\cdots,T), \xi:\ URS, S_i^{I+} \geq\ 0\ \ i=1,\cdots,m) \lambda_{jt} \geq 0, \\ S_f^u \geq\ 0\ \ f=1,\cdots,h),\quad S_r^o \geq\ 0\ \ r=1,\cdots,n). \end{gathered} \tag{۲۰}$$

مقدار $IUIM_{t\to t-1}^R$ برای DMU، Kth از دوره t به دوره t-1 $(t=2,\cdots,T)$ با الگوی زیر نشان داده شده است:

$$\begin{gathered} Maximize\ \xi+\varepsilon\left(\sum_{i=1}^{m} D_i^I S_i^{I+}+\sum_{r=1}^{n} D_r^o S_r^o+\sum_{f=1}^{h} D_f^u S_f^u\right) \\ \sum_{j \in J_T} I_{ijt-1} \lambda_{jt-1}+S_i^{I\mp}=I_{jkt}\quad k \in J_T \text{ and } i=1,\cdots,m), \\ \sum_{j \in J_T} O_{rjt-1}\ \lambda_{jt-1}-S_r^o-\xi O_{rkt}=O_{rkt}\quad k \in J_T \text{ and } r=1,\cdots,n), \\ \sum_{j \in J_T} U_{fjt-1}\ \lambda_{jt-1}+S_f^u+\ \xi U_{fkt}=U_{fkt}\quad k \in J_T \text{ and } f=1,\cdots,h), \\ j=1,\cdots,n \text{ and } t=2,\cdots,T), \xi:\ URS, S_i^{I+} \geq 0\ \ i=1,\cdots,m) \lambda_{jt-1} \geq 0, \\ S_f^u \geq\ 0\ \ f=1,\cdots,h),\ S_r^o \geq\ 0\ \ r=1,\cdots,n). \end{gathered} \tag{۲۱}$$

دسترسی مدیریتی با احتمال وقوع تقاطع مرزی

همان‌طور که در **شکل** ۴ مشاهده می‌شود خط نقطه‌چین پایین منحنی مرز دوره‌های t و t-1 را تحت دسترسی مدیریتی نشان می‌دهد.



شکل ۴- تقاطع مرزی بین دو دوره t و t-1 تحت دسترسی مدیریتی.

Figure 4- Boundary intersection between two periods t and t-1 under management access.

در این شکل c_{t-1} و d_t باید مکان خود را به نقاط پیش‌بینی‌شده $c^e_{t\&t-1}$ و $d^e_{t\&t-1}$ روی مرز جدید گرفته یا همان خط نقطه‌چین برای افزایش عملکرد محیطزیستی آن‌ها تحت دسترسی مدیریتی منتقل شود. عملکرد همه واحدهای تصمیم‌گیری در دوره *t* فقط به دوره *t* و *t-1* بستگی دارد نه دوره‌های دیگر. میانگین هندسی که نشان‌دهنده شاخص مالم‌کوئیست تحت دسترسی مدیریتی است توسط معادله زیر بیان می‌شود:

$$IMC^t_{t-1} = [Oc^e_{t-1} \times Od^e_t / Oc^e_{t\&t-1} \times Od^e_{t\&t-1}]^{1/2}. \qquad (۲۲)$$

معادلات تحت دسترسی مدیریتی با احتمال وقوع تقاطع مرزی

همان‌طور که در **شکل ۴** مشاهده گردید، **معادله (۲۲)** تحت دسترسی مدیریتی توسط الگوی زیر با تقاطع مرزی بیان می‌شود:

$$\begin{aligned} IMC^t_{t-1} &= [Oc^e_{t-1} \times Od^e_t / Oc^e_{t\&t-1} \times Od^e_{t\&t-1}]^{1/2}, \\ \Rightarrow IMC^t_{t-1} &= \left[UEM^R_{t-1} \times UEM^R_t / IUEM^R_{t-1\to t-1\&t} \times IUEM^R_{t\to t-1\&t}\right]^{1/2}. \end{aligned} \qquad (۲۳)$$

مقدار $IUEM^R_{t-1\to t-1\&t}$ برای DMU، *Kth* از دوره *t-1* به دوره *t* $(t = 2, \cdots, T)$ با الگوی زیر نشان داده شده است:

$$\begin{aligned} &Maximize\ \xi + \varepsilon\left(\sum_{i=1}^{m} D^I_i S^{I+}_i + \sum_{r=1}^{n} D^o_r S^o_r + \sum_{f=1}^{h} D^u_f S^u_f\right) \\ &\sum_{j\in J_T} I_{ijt-1\&t}\ \lambda_{jt-1\&t} - S^{I+}_i = I_{jkt-1} \quad k \in J_T\ and\ i = 1, \cdots, m), \\ &\sum_{j\in J_T} O_{rjt-1\&t}\ \lambda_{jt-1\&t} - S^o_r - \xi O_{rkt-1} = O_{rkt-1} \quad k \in J_T\ and\ r = 1, \cdots, n), \\ &\sum_{j\in J_T} U_{fjt-1\&t}\ \lambda_{jt-1\&t} + S^u_f + \ \xi U_{fkt-1} = U_{fkt-1} \quad k \in J_T\ and\ f = 1, \cdots, h), \\ &j = 1, \cdots, n\ and\ t = 2, \cdots, T), \xi:\ URS, S^{I+}_i \geq 0\ \ i = 1, \cdots, m)\ \lambda_{jt-1\&t} \geq 0, \\ &S^u_f \geq\ 0\ \ f = 1, \cdots, h), \quad S^o_r \geq\ 0\ \ r = 1, \cdots, n). \end{aligned} \qquad (۲۴)$$

مقدار $IUEM^R_{t\to t-1\&t}$ برای DMU، *Kth* از دوره *t* به دوره *t-1* $(t = 2, \cdots, T)$ با الگوی زیر نشان داده شده است:

$$\begin{aligned} &Maximize\ \xi + \varepsilon\left(\sum_{i=1}^{m} D^I_i S^{I+}_i + \sum_{r=1}^{n} D^o_r S^o_r + \sum_{f=1}^{h} D^u_f S^u_f\right) \\ &\sum_{j\in J_T} I_{ijt-1\&t}\ \lambda_{jt-1\&t} - S^{I+}_i = I_{jkt}\ (k \in J_T\ and\ i = 1, \cdots, m), \\ &\sum_{j\in J_T} O_{rjt-1\&t}\ \lambda_{jt-1\&t} - S^o_r - \xi O_{rkt} = O_{rkt}\ (k \in J_T\ and\ r = 1, \cdots, n), \\ &\sum_{j\in J_T} U_{fjt-1\&t}\ \lambda_{jt-1\&t} + S^u_f + \ \xi U_{fkt} = U_{fkt}\ (k \in J_T\ and\ f = 1, \cdots, h), \\ &(j = 1, \cdots, n\ and\ t = 2, \cdots, T), \xi:\ URS, S^{I+}_i \geq 0 (i = 1, \cdots, m) \lambda_{jt-1\&t} \geq 0, \\ &S^u_f \geq\ 0 (f = 1, \cdots, h), \ \ S^o_r \geq\ 0 (r = 1, \cdots, n). \end{aligned} \qquad (۲۵)$$

با اندازه‌گیری شاخص مالم‌کوئیست تحت دسترسی طبیعی و دسترسی مدیریتی؛ بهره‌وری، پیشرفت فنی، پیشرفت محیطزیستی، کارایی فنی و کارایی محیطزیستی تولیدکنندگان گندم آبی در ۳۱ استان کشور در افق زمانی ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۷ با استفاده از معادلات ذکرشده با یکدیگر مقایسه شده‌اند که در بخش بعد به تجزیه‌وتحلیل یافته‌های پژوهش پرداخته شده است. گفتنی است که تمام مدل‌های فوق با نرم‌افزار اکسل ۲۰۱۳ و نوشتن کد ویژوال‌بیسیک حل شده‌اند. در پیوست الف، تصویری از ماکرو و یکی از مدل‌های حل‌شده نشان داده شده است.

۴- یافته‌های پژوهش

نتایج شاخص بهره‌وری مالم‌کوئیست گندم آبی هر استان با وجود انتشار گاز دی‌اکسید کربن برای سال‌های زراعی ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۷ با احتمال وقوع و عدم وقوع تقاطع مرزی تحت دسترسی طبیعی و دسترسی مدیریتی در بخش بعدی مورد تجزیه‌وتحلیل قرار می‌گیرد.

۴-۱- نتایج شاخص بهره‌وری مالم‌کوئیست با عدم وقوع تقاطع مرزی

دسترسی طبیعی

نتایج به‌دست آمده از **جدول ۴** نشان می‌دهد استان خراسان رضوی در سال ۱۳۸۷ نسبت به سال ۱۳۸۶ با ۲۸۲% رشد بهره‌وری عوامل تولید بالاترین مقدار شاخص بهره‌وری مالم‌کوئیست تحت دسترسی طبیعی با عدم وقوع تقاطع مرزی را داشته است و این نتیجه رشد مثبت ۲۳۷/۳% در تحولات فناوری و رشد مثبت ۱۳/۲۷% در کارایی فنی می‌باشد که دلیل بر سرمایه‌گذاری و مدیریت مناسب این استان برای افزایش تولید همراه با افزایش بهره‌وری در سال ۱۳۸۷ شده است. استان کرمانشاه از سال ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۴ روی مرز کارایی قرار گرفته و ازآنجایی‌که مقادیر مازاد نهاده‌های تولید برابر صفر است، این استان در کشت گندم آبی کارایی قوی دارد. استان فارس در ۹ سال موردبررسی کارایی کمتر از یک دارد که نشان‌دهنده کارایی فنی ضعیف این استان در کشت گندم آبی با وجود انتشار زیاد گاز دی‌اکسید کربن است. همچنین استان فارس بیش‌ترین مقدار بذر مصرفی در هکتار و بیش‌ترین تعداد ساعت استفاده از ماشین‌آلات را در تولید گندم آبی دارد و این استان با سهم ۴۷/۵۱% از انتشار گاز دی‌اکسید کربن حاصل از تولید گندم آبی به کارایی محیط‌زیستی کشت گندم آبی کشاورزان در این استان توجه نمی‌گردد.

دسترسی مدیریتی

جدول ۵ نشان می‌دهد که شاخص بهره‌وری مالم‌کوئیست استان آذربایجان شرقی در سال ۱۳۸۵، با ۲/۳۶ بالاترین مقدار را دارد که نتیجه پیشرفت محیط‌زیستی است. استان‌های اردبیل، بوشهر، فارس، کرمانشاه و هرمزگان با ده سال سابقه شاخص بهره‌وری مالم‌کوئیست بیش‌تر از یک، پیشرفت کارایی فنی بیش‌تری را در هر سال تجربه کرده‌اند همچنین استان‌های آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی، چهارمحال و بختیاری، خراسان شمالی، کردستان و لرستان با شش سال سابقه شاخص بهره‌وری مالم‌کوئیست کمتر از یک مواجه بودند؛ در جایی که شاخص بهره‌وری مالم‌کوئیست تحت دسترسی مدیریتی بیش‌تر از یک باشد، پیشرفت محیط‌زیستی اتفاق افتاده و همچنین درصورتی‌که شاخص بهره‌وری مالم‌کوئیست کمتر از یک باشد پیشرفت محیط‌زیستی مشاهده نمی‌گردد.

۴-۲- نتایج شاخص بهره‌وری مالم‌کوئیست با وقوع تقاطع مرزی

دسترسی طبیعی

نتایج به‌دست آمده ارایه شده در **جدول ۶** نشان می‌دهد که شاخص بهره‌وری مالم‌کوئیست تحت دسترسی طبیعی در همه استان‌ها بیش‌تر از یک است، همچنین استان اصفهان در سال ۱۳۸۸ کارایی بیش‌تر از یک دارد ولی نسبت به استان‌های دیگر مقدار آن کمتر است. با نگاهی به شاخص بهره‌وری مالم‌کوئیست استان خراسان رضوی در سال ۱۳۸۷ نسبت به سال ۱۳۸۶ بهره‌وری عوامل تولید ۱۶۳% رشد مثبت داشته و مرز کارایی آن طبق **شکل ۳** روی مرز جدیدی به سمت شمال-شرق شکل گرفته است.

دسترسی مدیریتی

بر اساس نتایج ارایه شده در **جدول ۵**، شاخص بهره‌وری مالم‌کوئیست تحت دسترسی مدیریتی در همه استان‌ها کم‌تر از یک است که طبق **شکل ۴** یعنی مرز کارایی در همه استان‌ها در مسیر جنوب-غرب انتقال یافته است. استان خراسان شمالی با مقدار ۰/۰۷ کم‌ترین مقدار بهره‌وری را داشته و استان‌های فارس، خوزستان و کرمان به ترتیب با ۰/۸۴۹، ۰/۸۴ و ۰/۷۶ بهره‌وری بیش‌تری داشته‌اند.

جدول ۴- شاخص مالم‌کوئیست تحت دسترسی طبیعی: عدم تقاطع مرزی.

Table 4- Malmquist index under natural access: no border crossing.

1396	1395	1394	1393	1392	1391	1390	1389	1388	1387	1386	1385	استان
0.73	1.496	0.707	1.073	1.115	0.736	1	1.236	0.876	1.196	1.157	0.422	آذربایجان شرقی
0.831	1.094	0.92	1	1.198	0.852	1.159	0.898	1.040	1.073	1.043	0.613	آذربایجان غربی
0.827	0.956	0.992	0.976	1.113	0.699	1.231	0.848	1	1	1	0.935	اردبیل
1.027	0.84	0.84	1.235	1.05	0.821	1.071	1.356	1.09	0.925	0.693	0.518	اصفهان
1.007	0.957	1	1	1.086	0.9	1.006						البرز
0.841	1	1	1	1	0.915	1.091	0.952	0.944	1.185	0.396	0.658	ایلام
0.95	1	0.993	1	0.972	1	1.136	0.972	0.919	0.952	1.179	0.808	بوشهر
0.827	1	1	1	1.455	0.656	1.063	0.967	1	1.063	1.098	0.587	تهران
0.865	1	1.023	1.077	1.2	1.039	1.077	0.949	1.364	0.957	1.009	0.996	جنوب کرمان
1.019	0.907	0.982	1.027	1.024	0.949	1.291	0.928	0.695	1.033	1.154	0.662	چهارمحال و بختیاری
0.996	0.914	1.014	1.056	0.913	0.8	1.413	0.635	1.398	0.873	0.849	0.512	خراسان جنوبی

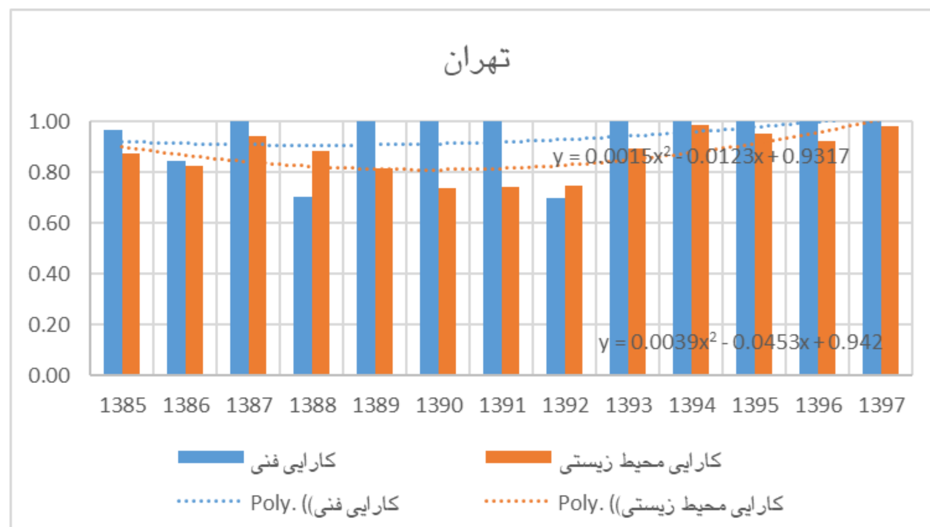
جدول ۴- ادامه.

Table 4- Continued.

1396	1395	1394	1393	1392	1391	1390	1389	1388	1387	1386	1385	استان
0.778	1.011	0.897	1	1.054	0.738	0.968	0.991	0.66	3.337	1.155	0.978	خراسان رضوی
0.857	1.114	0.89	1.033	1.323	0.81	1.022	1.328	0.572	1.152	1.789	0.148	خراسان شمالی
0.851	0.827	1	1	1	0.956	1.025	0.94	1.328	1.977	0.773	1.791	خوزستان
0.811	1.099	0.972	0.98	1	1	1	1.01	0.823	1.12	1.195	0.608	زنجان
0.837	1.047	0.935	1.186	0.942	0.914	1.03	0.909	0.981	1.223	0.948	0.981	سمنان
0.719	0.975	1.031	1	0.927	1.12	0.926	1	1	1.402	0.998	1	سیستان و بلوچستان
0.824	0.982	0.979	2.081	0.716	0.711	1.45	0.713	1.046	0.471	0.787	0.975	فارس
0.778	1.232	0.929	0.97	0.979	0.965	1.092	1.007	1.005	1.121	1.137	0.679	قزوین
0.818	1.026	1	1	1	0.914	1.677	0.542	1.368	1.135	0.991	0.632	قم
0.82	1.015	1.017	1.052	0.85	1.04	1.155	0.872	1	1.051	1.093	0.717	کردستان
0.83	1.029	0.894	0.991	0.983	1.015	1.465	0.757	1.064	1.319	0.995	0.743	کرمان
0.816	1.024	1	1	1	1	1	1	1	1	1.149	0.824	کرمانشاه
0.871	1.098	0.844	0.979	0.797	1.124	1.292	0.893	0.877	1.086	1	0.744	کهگیلویه و بویر احمد
0.889	0.922	0.967	1.255	0.947	0.874	1.319	0.929	0.772	1.023	1.087	0.905	گلستان
0.794	1.113	0.921	1.009	0.988	1.06	1.277	0.692	1.045	1.168	1.018	0.705	لرستان
0.877	0.966	0.963	0.786	1.067	1.093	0.932	1.108	1.04	0.961	1	1.421	مازندران
0.724	1.041	0.917	1	0.982	0.932	1.572	0.84	0.864	1.351	0.964	0.680	مرکزی
0.829	1	1	1	1	1.025	0.979	0.992	1.07	1	0.993	1	هرمزگان
0.783	1.165	0.863	1.069	0.928	0.956	1.154	0.978	0.956	1.131	1.191	0.507	همدان
0.876	1	0.99	0.	1925	0.803	1.054	0.973	1.021	1.039	0.878	1.178	یزد

۳-۴- نتایج کارایی فنی و کارایی محیط‌زیستی

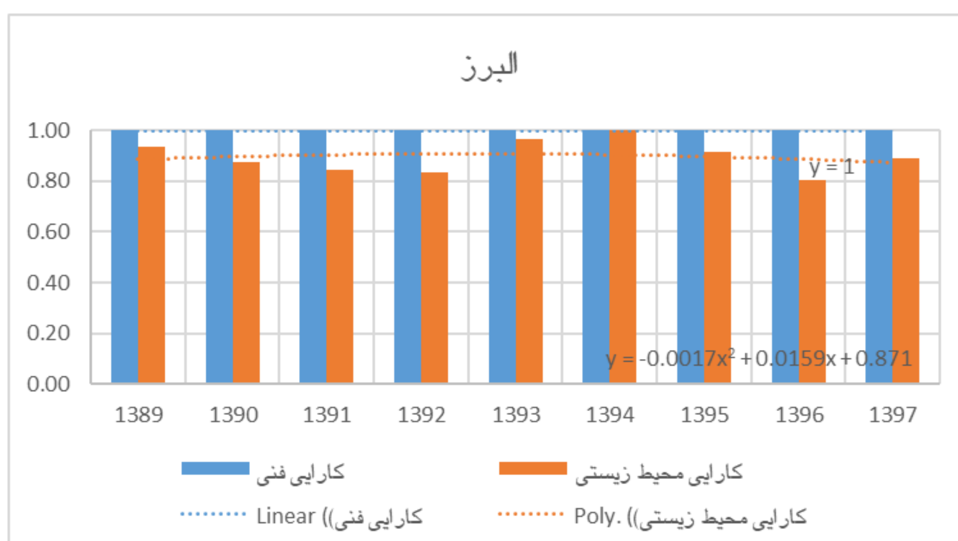
در مطالعه انجام‌شده کارایی فنی و کارایی محیط زیستی ۳۱ استان کشور تعیین شده است. کارایی فنی نسبت به ستانده مطلوب اندازه‌گیری می‌شود که در این مطالعه میزان تولید گندم آبی هر استان به‌عنوان ستانده مطلوب درنظر گرفته شده است و بیان‌کننده آن است که هر استان (واحد تصمیم‌گیری) با کمترین میزان استفاده از نهاده‌ها تا چه میزان کارا عمل کرده که محصول گندم آبی را تولید نماید. کارایی محیط‌زیستی نسبت به ستانده نامطلوب اندازه‌گیری می‌شود که در این مطالعه میزان انتشار گاز دی‌اکسید کربن حاصل از تولید گندم آبی هر استان به‌عنوان ستانده نامطلوب درنظر گرفته شده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد از **شکل ۵** تا **شکل ۷** کارایی فنی و کارایی محیط‌زیستی استان‌های تهران، البرز و کرمانشاه که طبق آمارنامه‌های کشاورزی از سال ۱۳۸۵ تا ۱۴۰۰ بالاترین میانگین مقدار تولید در هکتار را داشته بیان شده است. همچنین از **شکل ۸** تا **شکل ۱۰** کارایی فنی و کارایی محیط‌زیستی استان‌های سیستان و بلوچستان، خراسان جنوبی و بوشهر کم‌ترین میانگین مقدار تولید در هکتار را داشته گزارش شده است. با توجه به شیب خط روند هر شکل کارایی فنی و کارایی محیط‌زیستی هر استان طی سال‌های زراعی ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۷ موردبررسی قرار می‌گیرد. در **شکل ۵** کارایی فنی استان تهران گزارش شده است که طی سال‌های زراعی ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۷ کارایی فنی آن روند افزایشی داشته و در سال‌های ۱۳۸۵، ۱۳۸۶، ۱۳۸۸ و ۱۳۹۲ ناکارا بوده و در بقیه سال‌ها کاملا کارا است. همچنین استان تهران طی سال‌های موردبررسی به‌طور متوسط بالاترین عملکرد تولید گندم آبی در هکتار را در بین استان‌های دیگر به‌دست آورده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد در **شکل ۵** استان تهران از روند افزایشی در کارایی محیط‌زیستی برخوردار است و در سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۷ با ۰/۹۸ بیش‌ترین مقدار کارایی را طی سال‌های موردبررسی به‌دست آورده است.



شکل ۵- کارایی فنی استان تهران.

Figure 5- Technical efficiency of Tehran province.

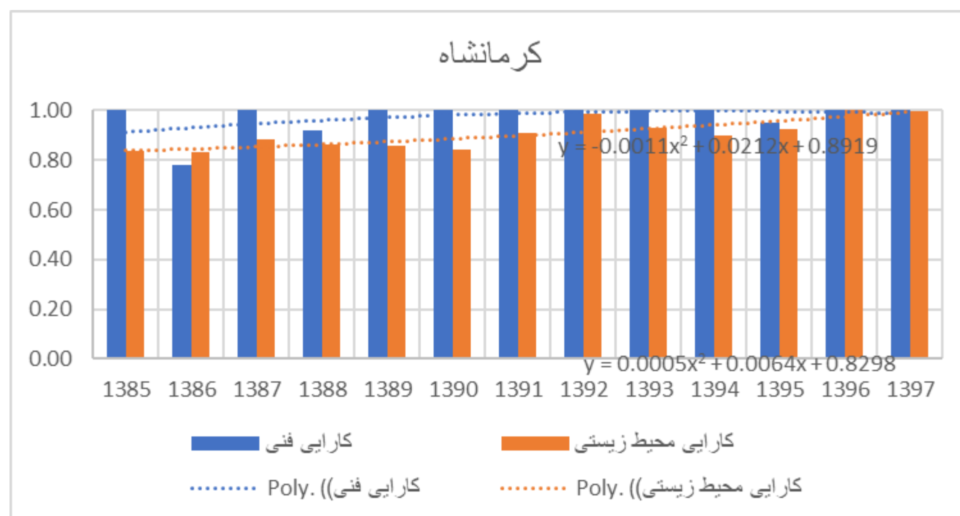
همان‌طور که در **شکل ۶** مشاهده می‌گردد استان البرز طی سال‌های زراعی ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۷ کارایی فنی کاملا کارا دارد. همچنین استان البرز طی سال‌های موردبررسی به‌طور متوسط کم‌ترین تعداد نیروی کار در هکتار و سطح زیر کشت در کشور را دارد که طی سال‌های زراعی ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۷ به‌طور متوسط بعد از استان فارس بیش‌ترین استفاده از ماشین‌آلات برای هر هکتار کشت گندم آبی به استان البرز اختصاص یافته است. کارایی محیط‌زیستی استان البرز نشان داده شده که روند نزولی دارد. در سال ۱۳۹۴ کارایی محیط‌زیستی این استان کاملا کارا عمل کرده و در بقیه سال‌ها ناکارا بوده است.



شکل ۶- کارایی فنی استان البرز.

Figure 6- Technical efficiency of Alborz province.

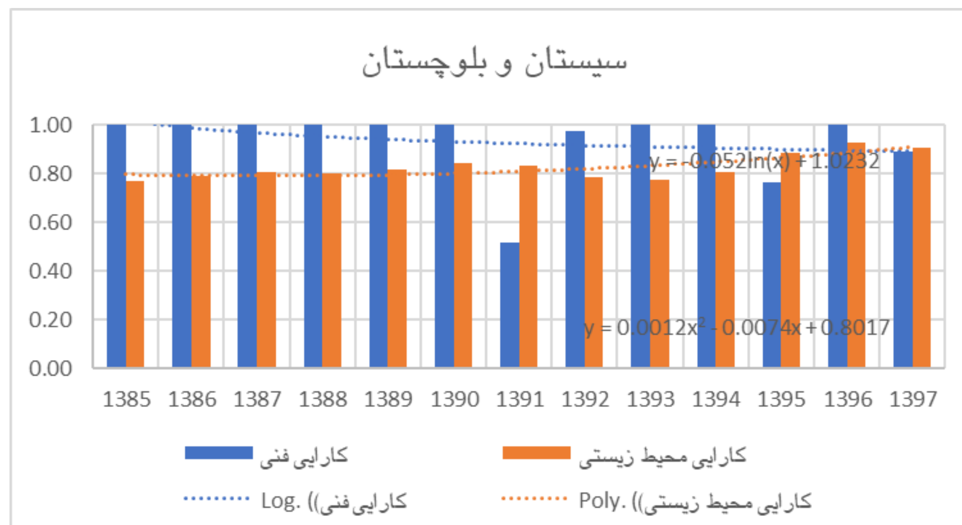
همان‌طور که در **شکل ۷** مشاهده می‌گردد کارایی فنی استان کرمانشاه طی سال‌های زراعی ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۷ دارای روند افزایشی است و در طی سال‌های موردبررسی کارا عمل کرده به جز سال‌های ۱۳۸۶، ۱۳۸۸ و ۱۳۹۵ که ناکارا بوده است. در **شکل ۷** کارایی محیط‌زیستی استان کرمانشاه طی سال‌های زراعی ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۷ گزارش شده که روند صعودی دارد و در سال ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ به کارایی محیط‌زیستی کاملا کارا دست یافته است.



شکل ۷- کارایی فنی استان کرمانشاه.

Figure 7- Technical efficiency of Kermanshah province.

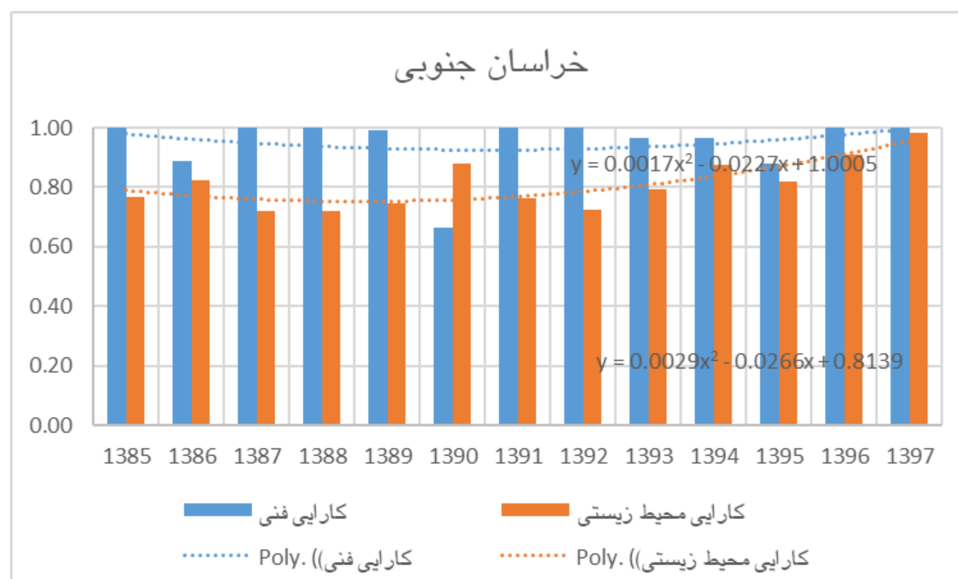
در **شکل ۸** کارایی فنی استان سیستان و بلوچستان طی سال‌های زراعی ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۷ نشان داده شده است؛ این استان از سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۰ از منظر کارایی فنی کارا عمل کرده و پس‌ازآن روند نزولی را پیش گرفته است. کارایی محیط‌زیستی استان سیستان و بلوچستان روند افزایشی داشته است که طی سال‌های موردبررسی این استان برای تولید گندم آبی به‌طور متوسط کم‌ترین گاز دی‌اکسید کربن را منتشر کرده است.



شکل ۸- کارایی فنی استان سیستان و بلوچستان.

Figure 8- Technical efficiency of Sistan and Baluchistan province.

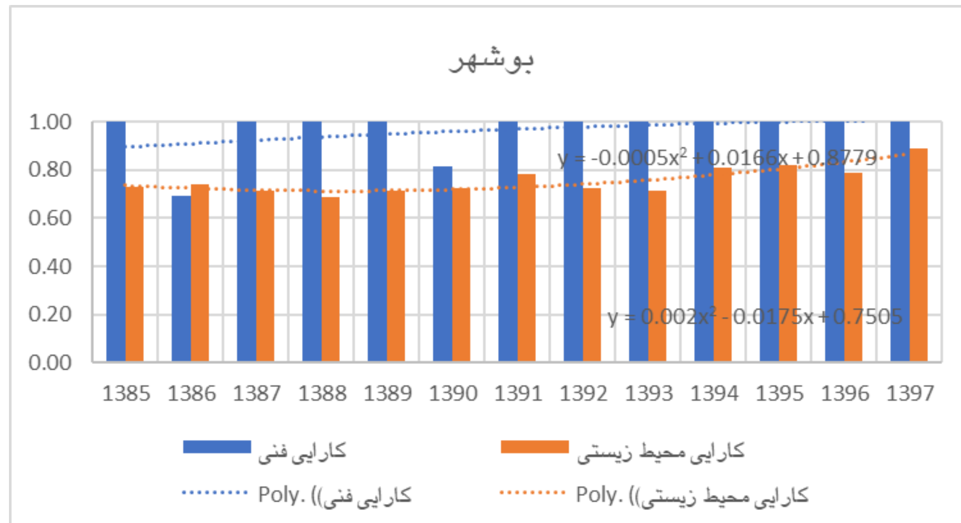
در **شکل ۹** استان خراسان جنوبی نشان می‌دهد که در سال‌های ۱۳۸۵، ۱۳۸۷، ۱۳۸۸، ۱۳۹۱، ۱۳۹۲، ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ کارایی فنی استان کارا عمل کرده است و طی سال‌های موردبررسی در کارایی فنی روند نزولی دارد. کارایی محیط‌زیستی استان خراسان جنوبی روند افزایشی داشته و در سال ۱۳۹۷ با ۰/۹۸ بالاترین مقدار کارایی محیط‌زیستی را به‌دست آورده است. همچنین استان خراسان جنوبی طی سال‌های موردبررسی به‌طور متوسط کم‌ترین مصرف سموم شیمیایی را در کشت گندم آبی کشور دارد.



شکل ۹- کارایی فنی استان خراسان جنوبی.

Figure 9- Technical efficiency of South Khorasan province.

همان‌طور که در **شکل ۱۰** مشاهده می‌گردد کارایی فنی استان بوشهر طی سال‌های زراعی ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۷، روند افزایشی داشته و در سال‌های ۱۳۸۶ و ۱۳۹۰ ناکارا هست و در بقیه سال‌های موردبررسی کاملا کارا عمل کرده است. کارایی محیط‌زیستی استان بوشهر روند افزایشی داشته و در سال ۱۳۹۷ با ۰/۸۹ بیش‌ترین مقدار کارایی را طی سال‌های موردبررسی به‌دست آورده است.



شکل ۱۰- کارایی فنی استان بوشهر.

Figure 10- Technical efficiency of Bushehr province.

بر اساس نتایج حاصل از پژوهش طی سال‌های زراعی ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۷ استان‌هایی که در کارایی فنی از روند افزایشی برخوردار هستند عبارت‌اند از استان‌های آذربایجان شرقی، البرز، ایلام، بوشهر، تهران، جنوب کرمان، خراسان شمالی، خوزستان، زنجان، فارس، قم، کردستان، کرمان، کرمانشاه، گلستان، لرستان، مازندران، مرکزی، هرمزگان، همدان و یزد. همچنین بر اساس نتایج به‌دست آمده، استان‌هایی که در کارایی محیط‌زیستی روند افزایشی دارند عبارت‌اند از استان‌های اردبیل، ایلام، بوشهر، تهران، چهارمحال و بختیاری، خراسان جنوبی، زنجان، سمنان، سیستان و بلوچستان، قزوین، قم، کرمان، کرمانشاه، مازندران، مرکزی، همدان و یزد. لازم به ذکر است به دلیل زیاد شدن حجم مقاله از تحلیل و آوردن شکل‌های مرتبط با سایر استان‌ها پرهیز شده است.

جدول ۵- شاخص مالم‌کوئیست تحت دسترسی مدیریتی: عدم تقاطع مرزی.

Table 5- Malmquist index under managerial access: no border crossing.

استان	1385	1386	1387	1388	1389	1390	1391	1392	1393	1394	1395	1396
آذربایجان شرقی	2.368	0.864	0.836	1.142	0.809	1	1.359	0.879	0.932	1.414	0.668	1.371
آذربایجان غربی	1.631	0.959	0.932	0.962	1.113	0.863	1.174	0.835	1	1.087	0.914	1.203
اردبیل	1.069	1	1	1	1.18	0.812	1.431	0.899	1.024	1.008	1.046	1.209
اصفهان	1.93	1.443	1.07	1.081	0.738	0.934	1.218	0.952	0.081	1.19	1.191	1.974
البرز						0.994	1.112	0.921	1	1	1.045	0.993
ایلام	1.521	0.716	0.844	0.059	1.05	0.916	1.093	1	1	1	1	1.789
بوشهر	1.237	0.878	1.051	1.088	1.029	0.88	1	1.029	1	1.007	1	1.053
تهران	1.703	0.911	0.941	1	1.034	0.94	1.525	0.687	1	1	1	1.209
جنوب کرمان	1.004	0.991	1.045	0.733	1.054	0.929	0.962	0.833	0.928	0.977	1	1.157
چهارمحال و بختیاری	1.511	0.866	0.968	1.439	1.078	0.774	1.054	0.977	0.947	1.018	1.103	0.982
خراسان جنوبی	1.954	1.178	1.145	0.715	1.575	0.708	1.25	1.095	1	0.986	1.094	1.004
خراسان رضوی	1.022	0.866	0.3	1.515	1.009	1.033	1.356	0.948	0.968	1.115	0.989	1.286
خراسان شمالی	1.745	0.559	0.868	1.748	0.753	0.978	1.234	0.756	1	1.124	0.897	1.167
خوزستان	0.559	1.294	0.506	0.753	1.063	0.976	1.046	1	1.02	1	1	1.175
زنجان	1.645	0.837	0.893	1.215	1	1	1	1	0.846	1.029	0.91	1.233

1.194	0.955	1.07	1	1.061	1.061	0.971	1.1	1.019	0.817	1.055	1.02	سمنان
1.392	1.026	0.97	0.481	1.079	0.893	1.08	1	1	0.713	1.002	1	سیستان و بلوچستان
1.213	1.019	1.021	1.079	1.398	1.407	0.69	1.403	0.956	2.123	1.27	1.026	فارس
1.286	0.811	1.077	1.398	1.021	1.037	0.916	1	1	0.892	0.88	1.473	قزوین
1.222	0.974	1	1.021	1	1.094	0.596	1.844	0.731	0.881	1.009	1.583	قم
1.219	0.986	0.983	1	1.176	0.962	0.866	1.147	1	0.951	0.915	1.395	کردستان
1.205	0.972	1.118	1.176	1.018	0.985	0.683	1.321	0.94	0.758	1.005	1.345	کرمان
1.226	0.977	1	1	1	1	1	1	1	1	0.87	1.214	کرمانشاه
1.148	0.911	1.185	1.254	1.254	0.889	0.774	1.12	1.14	0.921	1	1.344	کهگیلویه و بویر احمد
1.125	1.084	1.034	0.797	1.055	1.144	0.758	1.076	1.295	0.977	0.92	1.105	گلستان
1.259	1.898	1.086	1	1.012	0.943	0.783	1.445	0.957	0.856	0.982	1.419	لرستان
1.141	1.035	1.039	1.273	0.937	0.915	1.074	0.903	0.961	1.04	1	0.704	مازندران
1.381	0.961	1.09	1	1.018	1.073	0.636	1.191	1.157	0.74	1.037	1.471	مرکزی
1.206	1	1	1	1	0.975	1.021	1.008	0.935	1	1.007	1	هرمزگان
1.277	0.859	1.159	0.936	1.077	1.046	0.867	1.022	1.046	0.884	0.839	1.972	همدان
1.142	1	1.01	1.081	1	1.245	0.949	1.028	0.98	0.963	1.139	0.849	یزد

جدول ۶- شاخص مالم‌کوئیست تحت دسترسی طبیعی: وقوع تقاطع مرزی.

Table 6- Malmquist index under natural access: occurrence of border crossing.

1396	1395	1394	1393	1392	1391	1390	1389	1388	1387	1386	1385	استان
1.825	2.018	2.021	1.933	1.948	2.134	2	1.885	2.074	2.205	1.869	2.435	آذربایجان شرقی
1.834	2.028	2.058	2	2.034	1.882	1.964	1.974	2.017	2.074	1.959	2.361	آذربایجان غربی
1.848	1.984	1.992	2.024	2.002	2.248	1.943	1.9	2	2	2	2.07	اردبیل
1.818	1.956	2.04	1.973	1.954	1.966	1.992	1.134	2.563	1.926	2.483	1.857	اصفهان
2.007	2.046	2	2	2.088	2.115	2.006						البرز
1.848	2	2	2	2	2.095	1.991	1.953	2.06	2.193	1.74	1.693	ایلام
1.951	2	2.007	2	2.029	2	1.884	1.972	2.09	1.952	1.854	1.839	بوشهر
1.935	2	2	2	7.989	2.045	2.064	2.034	2	2.064	1.913	2.403	تهران
1.87	2.001	2.024	1.93	2.038	2.102	1.753	1.737	1.864	1.957	1.991	1.951	جنوب کرمان
1.836	2.009	1.987	1.961	1.944	2.013	1.938	1.88	2.069	2.033	1.871	2.186	چهارمحال و بختیاری

جدول ۶- ادامه.

Table 6- Continuation.

استان	1385	1386	1387	1388	1389	1390	1391	1392	1393	1394	1395	1396
خراسان جنوبی	3.412	2.185	1.878	2.129	2.155	2.008	2.264	2.085	2.003	2.076	1.789	1.775
خراسان رضوی	2.013	1.871	4.928	2.366	2.187	1.977	2.382	2.055	2.001	2.067	2.172	1.985
خراسان شمالی	4.144	1.62	2.159	2.182	1.856	1.896	2.019	1.977	1.935	2.006	1.979	1.896
خوزستان	1.896	2.313	3.133	1.995	2.064	2.025	2.047	2	2	2	2	1.857
زنجان	2.218	1.844	2.123	2.201	2	2	2	2	1.981	2.017	1.992	1.837
سمنان	1.981	2.055	2.235	1.981	2.102	2.03	1.966	1.929	2.041	1.993	1.986	1.845
سیستان و بلوچستان	2	2.002	2.435	2	2	1.928	2.07	2.081	2	2.031	2.026	1.965
فارس	1.81	2.286	1.564	2.252	1.916	1.955	2.265	1.622	2.162	1.964	2.019	1.833
قزوین	2.469	1.883	2.125	2.04	2.018	1.933	1.929	1.97	2.02	2.004	2.124	1.964
قم	2.468	2.009	2.14	2.364	2.245	2.109	2.096	2	2	2	2.026	1.828
کردستان	2.198	1.917	2.052	2	1.947	1.954	1.962	2.031	1.951	2.05	2.015	1.829
کرمان	2.122	2.005	2.341	2.065	1.929	1.905	1.985	2.018	1.993	2.059	1.972	1.838
کرمانشاه	1.832	1.875	2	2	2	2	2	2	2	2.05	1.977	1.848
کهگیلویه و بویر احمد	2.369	2	2.088	2.027	1.95	1.966	2.207	2.01	2.014	2.007	1.913	1.875
گلستان	1.908	1.922	2.023	1.997	1.756	1.886	2.156	2.071	2.025	2.009	1.877	1.744
لرستان	2.252	1.982	2.175	2.006	2.039	2.049	2.008	1.971	1.967	2.001	1.961	1.929
مازندران	2.206	2	1.962	1.962	2.11	2.075	2.095	2.068	1.992	1.96	2.036	1.881
مرکزی	2.515	2.038	2.377	2.163	1.847	2.025	2.074	2.019	2	2.086	2.034	1.871
هرمزگان	2	2.007	2	2.071	2.008	1.979	1.976	2	2	2	2	1.837
همدان	2.439	1.846	2.135	2.046	1.979	2.103	2.046	1.929	2.044	1.973	1.961	1.841
یزد	2.185	2.144	2.039	2.021	2.028	2.055	2.259	2	2.083	2.01	2	1.88

جدول ۷- شاخص مالم‌کوئیست تحت دسترسی مدیریتی: وقوع تقاطع مرزی.

Table 7- Malmquist index under management access: occurrence of border crossing.

استان	1385	1386	1387	1388	1389	1390	1391	1392	1393	1394	1395	1396
آذربایجان شرقی	2.435	1.869	2.205	2.074	1.885	2	2.134	1.948	1.933	2.021	2.018	1.825
آذربایجان غربی	2.361	1.959	2.074	2.017	1.974	1.964	1.882	2.034	2	2.058	2.028	1.834
اردبیل	2.07	2	2	2	1.9	1.943	2.248	2.002	2.024	1.992	1.984	1.848
اصفهان	1.857	2.483	1.926	2.563	1.134	1.992	1.966	1.954	1.973	2.04	1.956	1.818
البرز						2.006	2.115	2.088	2	2	2.046	2.007
ایلام	1.693	1.74	2.193	2.06	1.953	1.991	2.095	2	2	2	2	1.848
بوشهر	1.839	1.854	1.952	2.09	1.972	1.884	2	2.029	2	2.007	2	1.951
تهران	2.403	1.913	2.064	2	2.034	2.064	2.045	7.989	2	2	2	1.935
جنوب کرمان	1.951	1.991	1.957	1.864	1.737	1.753	2.102	2.038	1.93	2.024	2.001	1.87
چهارمحال و بختیاری	2.186	1.871	2.033	2.069	1.88	1.938	2.013	1.944	1.961	1.987	2.009	1.836
خراسان جنوبی	3.412	2.185	1.878	2.129	2.155	2.008	2.264	2.085	2.003	2.076	1.789	1.775
خراسان رضوی	2.013	1.871	4.928	2.366	2.187	1.977	2.382	2.055	2.001	2.067	2.172	1.985
خراسان شمالی	4.144	1.62	2.159	2.182	1.856	1.896	2.019	1.977	1.935	2.006	1.979	1.896
خوزستان	1.896	2.313	3.133	1.995	2.064	2.025	2.047	2	2	2	2	1.857
زنجان	2.218	1.844	2.123	2.201	2	2	2	2	1.981	2.017	1.992	1.837
سمنان	1.981	2.055	2.235	1.981	2.102	2.03	1.966	1.929	2.041	1.993	1.986	1.845
سیستان و بلوچستان	2	2.002	2.435	2	2	1.928	2.07	2.081	2	2.031	2.026	1.965
فارس	1.81	2.286	1.564	2.252	1.916	1.955	2.265	1.622	2.162	1.964	2.019	1.833
قزوین	2.469	1.883	2.125	2.04	2.018	1.933	1.929	1.97	2.02	2.004	2.124	1.964

جدول ۷- ادامه.

Table 7- Continuation.

استان	1385	1386	1387	1388	1389	1390	1391	1392	1393	1394	1395	1396
قم	2.468	2.009	2.14	2.364	2.245	2.109	2.096	2	2	2	2.026	1.828
کردستان	2.198	1.917	2.052	2	1.947	1.954	1.962	2.031	1.951	2.05	2.015	1.829
کرمان	2.122	2.005	2.341	2.065	1.929	1.905	1.985	2.018	1.993	2.059	1.972	1.838
کرمانشاه	1.832	1.875	2	2	2	2	2	2	2	2.05	1.977	1.848
کهگیلویه و بویر احمد	2.369	2	2.088	2.027	1.95	1.966	2.207	2.01	2.014	2.007	1.913	1.875
گلستان	1.908	1.922	2.023	1.997	1.756	1.886	2.156	2.071	2.025	2.009	1.877	1.744
لرستان	2.252	1.982	2.175	2.006	2.039	2.049	2.008	1.971	1.967	2.001	1.961	1.929
مازندران	2.206	2	1.962	1.962	2.11	2.075	2.095	2.068	1.992	1.96	2.036	1.881
مرکزی	2.515	2.038	2.377	2.163	1.847	2.025	2.074	2.019	2	2.086	2.034	1.871
هرمزگان	2	2.007	2	2.071	2.008	1.979	1.976	2	2	2	2	1.837
همدان	2.439	1.846	2.135	2.046	1.979	2.103	2.046	1.929	2.044	1.973	1.961	1.841
یزد	2.185	2.144	2.039	2.021	2.028	2.055	2.259	2	2.083	2.01	2	1.88

۵- نتیجه‌گیری

در این مطالعه با لحاظ کردن میزان انتشار گاز دی‌اکسید کربن حاصل از تولید گندم آبی با استفاده شاخص مالم‌کوئیست برای اندازه‌گیری بهره‌وری مبتنی بر رهیافت تحلیل پوششی داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار *Excel.2013* و با داده‌هایی که از طریق سازمان وزارت جهاد کشاورزی کشور و سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی کرج و مرکز توسعه مکانیزاسیون کشاورزی برای ۳۱ استان کشور طی سال‌های زراعی ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۷ گردآوری شده و موردبررسی قرار گرفته است. در این مطالعه با استفاده از ضرایب انتشار میزان انتشار دی‌اکسید کربن هر نهاده تولیدی محاسبه و به‌عنوان ستانده نامطلوب درنظر گرفته شده و به‌وسیله شاخص بهره‌وری مالم‌کوئیست میزان کارایی هر واحد تصمیم‌گیری با لحاظ دیدگاه محیط‌زیستی بررسی شد. در این مطالعه مقدار تولید گندم به‌عنوان ستانده مطلوب، میزان انتشار دی‌اکسید کربن از تولید گندم آبی به‌عنوان ستانده نامطلوب همچنین متوسط مقدار تامین آب از منابع مختلف، هزینه آماده‌سازی زمین، مقدار مصرف کودهای شیمیایی، مقدار مصرف سموم شیمیایی، تعداد نیروی کار، تعداد ساعت استفاده از ماشین‌آلات، مقدار مصرف کود حیوانی و مقدار بذر مصرفی به‌عنوان نهاده مورداستفاده قرار گرفته است. هر استان در کشت محصولات کشاورزی می‌تواند بین توسعه کشاورزی و حفاظت از محیط‌زیست تعادل برقرار کند تا به یک وضعیت پایدار برسد. با توجه به نتایج به‌دست آمده، فرضیه‌های پژوهش مورد تحلیل و بررسی قرار می‌گیرند.

فرضیه ۱ – کارایی محیط‌زیستی در تولید گندم آبی در استان‌های ایران طی سال‌های موردبررسی کاهشی بوده است.

نتایج کارایی محیط زیستی در تولید گندم آبی در ۳۱ استان کشور طی سال‌های زراعی ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۷ نشان می‌دهد که کارایی محیط زیستی در استان‌های آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی، اصفهان البرز، جنوب کرمان، خراسان رضوی، خراسان شمالی، خوزستان، فارس، کردستان، کهگیلویه و بویر احمد، گلستان، لرستان، هرمزگان دارای خط روند کاهشی است و **فرضیه ۱** مبنی بر کاهشی بودن کارایی محیط زیستی در تولید گندم در این استان‌ها پذیرفته می‌شود، اما برخلاف **فرضیه ۱** کارایی محیط‌زیستی در استان‌های اردبیل، ایلام، بوشهر، تهران، چهارمحال و بختیاری، خراسان جنوبی، زنجان، سمنان، سیستان و بلوچستان، قزوین، قم، کرمان، کرمانشاه، مازندران، مرکزی، همدان و یزد دارای خط روند افزایشی است.

فرضیه ۲ – کارایی فنی در تولید گندم آبی در استان‌های ایران طی سال‌های موردبررسی افزایشی بوده است.

نتایج کارایی محیط فنی در تولید گندم آبی در ۳۱ استان کشور طی سال‌های زراعی ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۷ نشان می‌دهد که کارایی فنی در استان‌های آذربایجان شرقی، البرز، ایلام، بوشهر، تهران، جنوب کرمان، خراسان شمالی، خوزستان، زنجان، فارس، قم، کردستان، کرمان، کرمانشاه، گلستان، لرستان، مازندران، مرکزی، هرمزگان، همدان و یزد دارای خط روند افزایشی است و **فرضیه ۲** مبنی بر افزایشی بودن کارایی فنی در تولید گندم در این استان‌ها پذیرفته می‌شود، ولی برخلاف **فرضیه ۲** کارایی فنی در استان‌های آذربایجان غربی، اردبیل، اصفهان، چهارمحال و بختیاری، خراسان جنوبی، خراسان رضوی، سمنان، سیستان و بلوچستان، قزوین، کهگیلویه و بویر احمد دارای خط روند کاهشی است.

با توجه به هدف پژوهش، نتایج کارایی فنی و کارایی محیط‌زیستی تولیدکنندگان گندم آبی در ۳۱ استان کشور طی سال‌های زراعی ۱۳۸۵-۱۳۹۷ مورد ارزیابی قرار گرفت. طی سال‌های زراعی موردبررسی استان کرمانشاه که در کشت گندم آبی کارا و روی منحنی کارایی قرار دارد در اولویت کشت گندم آبی قرار گیرد. همچنین استان فارس با اصلاح اراضی کشت گندم آبی و استفاده از ماشین‌آلات در مقیاس کارا به میزان انتشار گاز دی‌اکسید کربن حاصل از کشت گندم آبی توجه نماید. استان خوزستان با بیش‌ترین سطح زیر کشت گندم آبی کشور، بیش‌ترین میزان آب مصرفی، بذر مصرفی و کود شیمیایی را استفاده می‌کند که با توجه به نتایج به‌دست آمده مازاد نهاده داشته و امکان کاهش نهاده وجود دارد.

با توجه به نتایج مطالعه انجام شده، پیشنهادهایی جهت بهبود شرایط تولیدکنندگان گندم آبی استان‌های کشور از نظر کارایی فنی و کارایی محیطزیستی و انجام پژوهش‌های آتی ارایه می‌گردد: کارایی فنی و کارایی محیط زیستی را می‌توان برای سایر محصولات زراعی محاسبه نمود و میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای $CO2$، $N2O$ و $CH4$ را به‌عنوان ستانده نامطلوب برآورد کرد. الگوی شاخص بهره‌وری مالم‌کوئیست را می‌توان بر اساس پهنه‌بندی اگرواکولوژیکی برای هر استان یا هر کشور انجام داد. با برگزاری دوره‌ها و کلاس‌های لازم جهت افزایش دانش و آگاهی کشاورزان نسبت به آثار جانبی تولید گندم آبی بر محیطزیست، تولیدکنندگان گندم آبی را ترغیب به استفاده از کودهای زیستی و بهینه‌سازی مصرف نهاده‌های شیمیایی کنند. با توجه به گرم شدن کره زمین و پدیده تغییر اقلیم استان‌هایی که کارایی محیطزیستی بیشتری در تولید گندم آبی دارند در اولویت کشت قرار بگیرند.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از کلیه بزرگوارانی که در مراحل انجام این تحقیق ما را یاری نمودند صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نماییم.

منابع مالی

این تحقیق برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد نویسنده اول است که با حمایت مالی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شده است.

تعارض با منافع

نویسندگان این مقاله بیان می‌کنند که هیچ تعارضی در منافع مربوط به مطالب ارایه‌شده در این مقاله وجود ندارد. تمامی نویسندگان نسخه نهایی را مشاهده و تایید نموده و تضمین می‌کنند که این مقاله حاصل کار اصلی آن‌ها است، قبلا به جای دیگری ارسال نشده و در دست انتشار در جای دیگری نیست.

منابع

[1] Liang, S., Xu, M., & Zhang, T. (2013). Life cycle assessment of biodiesel production in China. *Bioresource technology*, *129*, 72–77. DOI:10.1016/j.biortech.2012.11.037
[2] Vermeulen, S. J., Campbell, B. M., & Ingram, J. S. I. (2012). Climate change and food systems. Annual review of environment and resources, 37, 195–222. DOI:10.1146/annurev-environ-020411-130608
[3] Lægreid, M., Bockman, O. C., & Kaarstad, O. (1999). *Agriculture, fertilizers and the environment*. CABI Publishing.
[4] FAO. (2017). *The state of food and agriculture*. http://unisz.bg/truni11/wpcontent/uploads/biblioteka/file/TUNI10042440(1).pdf
[5] Mickwitz, P., Melanen, M., Rosenström, U., & Seppälä, J. (2006). Regional eco-efficiency indicators-a participatory approach. *Journal of cleaner production*, *14*(18), 1603–1611.
[6] Amid, J. (2007). The dilemma of cheap food and self-sufficiency: the case of wheat in Iran. *Food policy*, *32*(4), 537–552. DOI:10.1016/j.foodpol.2006.11.001
[7] Najafi, B. (2001). Examining government policies in the field of wheat: challenges and approaches. *Agricultural economics and development*, *9*(34), 7-32. (**In Persian**). https://www.sid.ir/paper/24410/fa

[8] Agricultural Statistics. (2021). *Ministry of Agriculture-Jahad, planning and economic deputy, information and communication technology center*. https://irandataportal.syr.edu/ministry-of-agriculture.
[9] Rezvantalab, N., Soltani, A., Zeinali, E., & Foroughnia, A. (2019). Study of energy indicators and greenhouse gas emissions in wheat production in Golestan Province. *Journal of agroecology*, *9*(1), 17-38. (**In Persian**). https://www.sid.ir/paper/405678/en
[10] Vahedi, A. (2020). An analysis and optimization of energy consumption for irrigated wheat production using data envelopment approach (case study in Alborz Province). *Agricultural mechanization and systems research*, *20*(73), 173-192. (**In Persian**). https://amsr.areeo.ac.ir/article_119278_en.html?lang=fa
[11] Balali, H., Shahbazi, H., Seid Mohammadi, Z., & Bani Asadi, M. (2021). Application of non-normally distributed stochastic plateau function in determining the optimal economic level of chemical fertilizer inputs usage in irrigated cereals (irrigated wheat and barley crops). *Journal of agricultural economics and development*, *35*(1), 79-92. (**In Persian**). https://jead.um.ac.ir/article_39984_en.html
[12] Elasraag, Y. H., & Alarcón, S. (2017). Global malmquist indices of productivity change in Egyptian wheat production. *Spanish journal of agricultural research*, *15*(2), 3. DOI:10.5424/sjar/2017152-10548
[13] Hong, C. Y., Lee, Y. C., Tsai, M. C., & Tsai, Y. C. (2018). Agricultural sector input technical coefficients, demand changes and CO2 emissions after the financial crisis: environmental input-output growth factor model approach. *International journal of energy economics and policy*, *8*(6), 339–345.
[14] Ilahi, S., Wu, Y., Raza, M. A. A., Wei, W., Imran, M., & Bayasgalankhuu, L. (2019). Optimization approach for improving energy effciency and evaluation of greenhouse gas emission of wheat crop using Data Envelopment Analysis. *Sustainability (Switzerland)*, *11*(12), 3409. DOI:10.3390/SU11123409
[15] Wen, L., & Li, H. (2022). Estimation of agricultural energy efficiency in five provinces: based on data envelopment analysis and Malmquist index model. *Energy sources, part a: recovery, utilization and environmental effects*, *44*(2), 2900–2913. DOI:10.1080/15567036.2019.1651798
[16] Ghasemi-Mobtaker, H., Kaab, A., & Rafiee, S. (2020). Application of life cycle analysis to assess environmental sustainability of wheat cultivation in the west of Iran. *Energy*, *193*, 116768. DOI:10.1016/j.energy.2019.116768
[17] Emami Meibodi, A. (2005). *The principles of efficiency and productivity measurement (scientific-applied)*. Publications of the Institute of Business Studies and Research. (**In Persian**). https://www.gisoom.com/book/1342849/
[18] Abtahi, S. H., & Kazemi, B. (2015). *Productivity (principles, basics, methods of increase and measurement)*. Foozhan. (**In Persian**). https://www.gisoom.com/book/11184907/
[19] Sueyoshi, T., & Goto, M. (2018). *Environmental assessment on energy and sustainability by data envelopment analysis*. John Wiley & Sons.
[20] Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European journal of operational research*, *2*(6), 429–444. https://doi.org/10.1016/0377-2217(78)90138-8
[21] Sabouhi Sabouni, M. (2012). *The application of mathematical programming in agricultural economics with emphasis on the use of Excel software*. Zabul University Publications. (**In Persian**). https://daneshnegar.com/fa/product/47858/
[22] Lotfalipour, M. R., & Ashena, M. (2010). An analysis of factors that influence carbon dioxide emission in Iran’s economy. *Energy economics review*, *7*(24), 121-145. (**In Persian**). https://www.sid.ir/paper/99632/fa
[23] Lal, R. (2004). Soil carbon sequestration in India. *Climatic change*, *65*(3), 277–296. https://link.springer.com/article/10.1023/B:CLIM.0000038202.46720.379
[24] Pishgar-Komleh, S. H., Omid, M., & Heidari, M. D. (2013). On the study of energy use and GHG (greenhouse gas) emissions in greenhouse cucumber production in Yazd province. *Energy*, *59*, 63–71. https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.07.037
[25] Dyer, J. A., & Desjardins, R. L. (2006). Carbon dioxide emissions associated with the manufacturing of tractors and farm machinery in Canada. *Biosystems engineering*, *93*(1), 107–118. https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2005.09.011

[26] Caves, D. W., Christensen, L. R., & Diewert, W. E. (1982). The economic theory of index numbers and the measurement of input, output, and productivity. *Econometrica*, *50*(6), 1393–1414. http://www.jstor.org/stable/1913388

[27] Färe, R., Grosskopf, S., Lindgren, B., & Roos, P. (1994). Productivity developments in swedish hospitals: a malmquist output index approach. *Data envelopment analysis: theory, methodology, and applications*, 253–272. https://cir.nii.ac.jp/crid/1573950400375468160

[28] Coelli, T. J., Prasada Rao, D. S., O'Donnell, C. J., & Battese, G. E. (2005). *An introduction to efficiency and productivity analysis*. Springer science & business media.

[29] Sueyoshi, T., Goto, M., & Wang, D. (2017). Malmquist index measurement for sustainability enhancement in Chinese municipalities and provinces. *Energy economics*, *67*, 554–571. DOI:10.1016/j.eneco.2017.08.026

پیوست الف

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	P
برای سال زراعی 1397(1397)			نهاده 1	نهاده2	نهاده 3	نهاده 4	نهاده 5	نهاده 6	نهاده 7	نهاده 8	ستاده مطلوب	ستاده نامطلوب	TETA	
	DMU		مقدار آب (میلیون متر مکعب در هکتار)	اجاره بهای زمین (میلیارد)	شیمیایی (هز	سموم شیمیایی (تن)	نیروی کار (تعداد - هزار نفر	ماشین، ماش	کود حیوانی (هزار تن)	بذر مصرفی (هزار تن)	میزان تولید گندم آبی(تن)	میزان انتشار گاز دی اکسید کربن از تولید گندم آبی (هزار تن)	λ	Solution
λ1	مرکزی		146.7205882	50.7936	13.0281	64.5421	733.763	1644.39	90.9812	10.6944	188.305	97.4868343	0	0.38687
λ2	مازندران		70.58333333	40.126	8.22572	68.8012	436.686	888.688	0.19269	4.87412	108.321	48.98826858	0	0.3211
λ3	آذربایجان شرقی		285.9886598	82.3796	17.0796	89.6838	1745.41	2554.18	44.8419	16.5159	277.068	133.8970565	0	0.41431
λ4	آذربایجان غربی		281.4112518	98.2242	21.0988	145.461	1299.63	3388.69	52.0763	19.2562	348.214	174.5389633	0	0.3919
λ5	کرمانشاه		335.0253807	183.365	31.4046	190.962	1271.7	3398.4	0.882	20.1258	456.078	186.1646166	0	0.3157
λ6	خوزستان		1591.832653	362.325	130.365	585.076	4570.79	15019.6	0	97.1605	1395.237	804.412811	0	0.27532
λ7	فارس		711.9105714	229.1	90.7993	409.679	4342.33	7873.73	15.1766	66.861	1061.796	462.2402126	0	0.40362
λ8	کرمان		121.8241042	17.9859	12.3243	56.9466	827.22	1139.41	0.068	7.52148	162.195	65.2417041	0	0.31156
λ9	اصفهان		252.4130742	60.1882	27.5361	98.9346	1414.37	2208.71	369.509	16.7582	280.342	178.8507942	0	0.4093
λ10	سیستان و بلوچستان		221.766875	12.9766	8.43521	21.0058	625.463	1113.25	1.90961	6.38366	81.709	57.49620708	0	0.32555
λ11	کردستان		148.233871	50.25	8.36068	63.9091	504.642	1228.52	8.64241	9.10695	174.825	63.33185882	0.961755451	0.32711
λ12	همدان		217.5700565	95.0045	20.7113	205.832	868.923	2661.52	118.519	16.3212	355.864	155.0976623	0	0.35241
λ13	چهارمحال و بختیاری		92.59887006	19.9803	6.63572	37.2373	388.667	799.236	22.4707	6.35478	84.036	45.23244696	0	0.38194
λ14	لرستان		185.8738983	99.696	10.6804	98.5744	882.808	1757.74	0	10.8225	181.962	87.04998262	0	0.27225
λ15	ایلام		145.0691748	44.0406	22.937	64.1533	323.837	2187.53	8.87834	16.8563	241.05	124.4722758	0	0.29277
λ16	کهگیلویه و بویراحمد		51.4893617	24.7706	3.04766	6.721	312.62	825.264	0.275	2.54056	67.77	37.05432126	0	0.24177
λ17	بوشهر		122.7038576	10.6155	6.15682	14.0519	358.252	658.086	0	5.47715	68.335	35.80216894	0	0.24651
λ18	زنجان		66.55462185	22.0049	5.88636	38.772	364.68	616.716	8.2152	3.60144	86.085	35.17072704	0	0.34643
λ19	سمنان		102.932618	17.3759	7.36614	46.351	366.726	785.17	67.96	5.51769	101.223	51.76521568	0	0.35498
λ20	یزد		59.84578947	3.1506	3.73662	13.9053	393.013	341.245	0	2.16788	34.181	19.56388104	0	0.23287
λ21	هرمزگان		87.99254237	11.7821	3.5482	26.6386	173.917	436.705	0.02596	3.37746	49.538	23.13962879	0	0.31287
λ22	تهران		141.150078	58.4108	17.3169	99.9156	322.017	1635.17	18.4368	10.0105	248.603	95.60762943	0	0.31555
λ23	گیلان	OBJ.F	412.4472727	230.966	36.7853	286.257	856.344	4538.28	50.2804	16.8932	559.969	246.7700679	0	0.34171
λ24	قزوین	0.3868703	157.7662142	56.5276	21.6254	81.3685	479.254	1866.62	79.6997	12.9413	218.807	119.0950245	0	0.37616
λ25	جنوب کرمان		185.7075	60.3704	19.4089	94.3624	617.9	1479.39	0	10.9281	175.04	90.63223652	0	0.25916
λ26	اردبیل		206.2426667	82.131	20.4236	150.717	776.222	2725.22	30.4513	18.5351	306.265	145.1441729	0	0.36331
λ27	قم	DMUN	37.77714286	6.01	1.74909	9.98622	63.6459	234.462	4.29595	1.44877	31.132	12.63969386	0	0.33006
λ28	خراسان جنوبی	1	135.5050847	6.5625	7.17297	4.54432	709.357	585.256	13.2005	3.63691	62.05	36.18247391	0	0.22784
λ29	خراسان رضوی		486.015411	147.434	50.6977	179.46	4262.66	4291.04	202.953	33.4858	526.331	277.7748813	0	0.51821
λ30	خراسان شمالی	ε	352.5518644	53.3793	11.4989	46.1394	578.634	1808.7	11.2938	12.3163	177.669	90.99047077	0	0.3418
λ31	البرز	0.0000001	40.25266667	22.5275	4.50208	26.0914	95.9477	433.763	13.3295	2.19659	63.675	26.26773454	0	0.32839
			d^{x}_{1}	d^{x}_{2}	d^{x}_{3}	d^{x}_{4}	d^{x}_{5}	d^{x}_{6}	d^{x}_{7}	d^{x}_{8}	d^{g}_{1}	d^{b}_{1}	ξ	
			4.15585486	2.465	4.987	3.077	248.4	462.9	82.67	1.936	0	0	0.37520014	
			R^{x}_{1}	R^{x}_{2}	R^{x}_{3}	R^{x}_{4}	R^{x}_{5}	R^{x}_{6}	R^{x}_{7}	R^{x}_{8}	R^{g}_{1}	R^{b}_{1}		
			155.405551	35.92	12.86	58.05	450.7	1.479	36.95	9.571	136.4105	79.17731171		
	LHS													
مقدار آب (میلیون متر مکعب در هکتار)	146.7205882	146.720588												
اجاره بهای زمین (میلیارد ریال)	50.7936326	50.7936326												
کود شیمیایی (هزار تن)	13.028148	13.028148												
سموم شیمیایی (تن)	64.54212	64.54212												

RUN Model

$$\text{Maximize } \xi + \varepsilon\left(\textstyle\sum_{i=1}^{m} D_i^I S_i^{I-} + \sum_{r=1}^{n} D_r^o S_r^o + \sum_{f=1}^{h} D_f^u S_f^u\right)$$

$$\sum_{j\in J_T} I_{ijt}\,\lambda_{jt} + S_i^{I-} = I_{jkt}\ (k\in J_T \text{ and } i=1,\cdots,m),$$

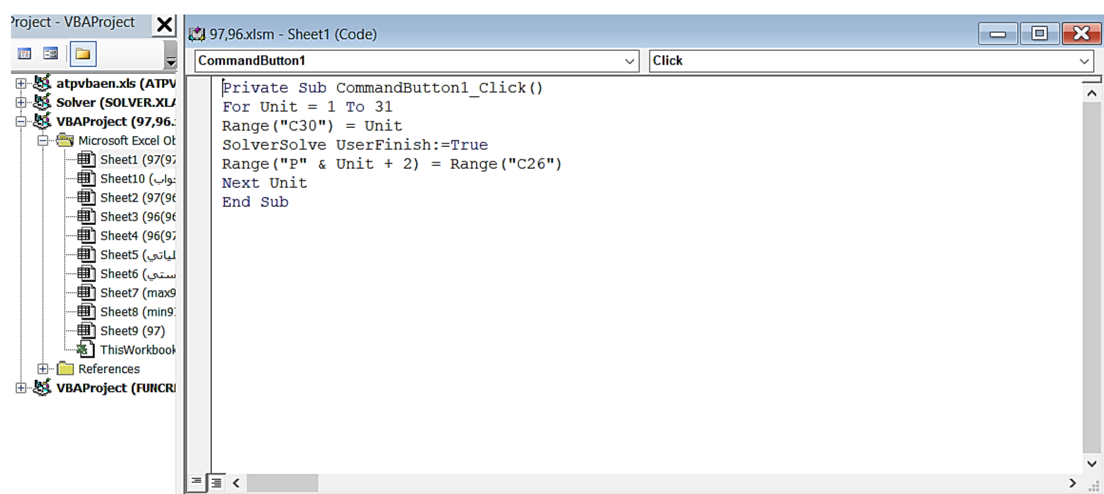
$$\sum_{j\in J_T} O_{rjt}\,\lambda_{jt} - S_r^o - \xi\, O_{rkt} = O_{rkt}\ (k\in J_T \text{ and } r=1,\cdots,n),$$

$$\sum_{j\in J_T} U_{fjt}\,\lambda_{jt} + S_f^u + \xi\, U_{fkt} = U_{fkt}\ (k\in J_T \text{ and } f=1,\cdots,h),$$

$$\lambda_{jt}\ge 0\ (j=1,\cdots,n \text{ and } t=2,\cdots,T)\ ,\ \xi:\text{URS},\ S_i^{I-}\ge 0\ (i=1,\cdots,m)$$

شکل الف-۱- تعیین انواع کارایی سال ۱۳۹۷-۱۳۹۶.

Figure A.1- Determining types of efficiency in 2017-2018.



شکل الف-۲- کد ویژوال بیسیک.

Figure A. 2- Visual Basic code.